

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ГЕОДЕЗІЇ, ЗЕМЛЕУСТРОЮ ТА АГРОІНЖЕНЕРІЇ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
д.т.н., професор

_____Костянтин ДЯДЮРА

« ____ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти
Освітньої програми «Агроінженерія»
За спеціальністю 208 «Агроінженерія»

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ТЕПЛИЦЬ

Науковий керівник: проф, д.т.н.
_____ Тарас ГУЦОЛ

Рецензент: гол. інженер, к.т.н.
_____ Степан МАРКОВ

Виконав здобувач заочної форми навчання
Микола МАРИНІЧ

*Засвідчую, що кваліфікаційна робота містить
результати власних досліджень. Використання
ідей і текстів інших авторів має посилання
на відповідне джерело.*

_____ **Микола МАРИНІЧ**

ОДЕСА – 2025

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота на тему: «Дослідження використання сонячної енергії для ефективного теплопостачання теплиць» складається з п'яти розділів та містить 36 рисунків, 15 таблиць, 42 формули.

В першому розділі приведений сучасний стан сонячного теплопостачання теплиць захищеного ґрунту. Приведені сучасні технології опалення сонячних теплиць та основні характеристики і властивості теплоакумуючих матеріалів.

В другому розділі приведений огляд технологій для забезпечення мікроклімату в теплицях. Теплофізичний розрахунок теплиці.

В третьому розділі проведені дослідження вакуумних сонячних колекторів та їх використання при теплопостачанні. Розраховані характеристики вакуумованих склопакетів, які забезпечують підвищення ефективності сонячних колекторів.

Четвертий розділ присвячений охороні праці та безпеці в надзвичайних ситуаціях. Проведений аналіз стану охорони праці на проектуваному об'єкті, запропоновані заходи для зниження рівня травматизму.

П'ятий розділ присвячений розрахунку економічного ефекту від впровадження вакуумованих сонячних колекторів.

Приведені висновки, список літератури та додатки.

Ключові слова: ВАКУУМ, КОЛЕКТОР, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, СКЛОПАКЕТ, ТЕПЛИЦЯ, ОХОРОНА ПРАЦІ, ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ.

ВСТУП

Використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) актуально для всіх країн світу: для розвинених країн, що імпортують паливно-енергетичні ресурси, - це, в першу чергу, забезпечення енергетичної безпеки; для розвинених країн, що мають свої запаси палива, - поліпшення екологічної ситуації; для країн, що розвиваються - спосіб поліпшити соціально-побутові умови проживання населення.

Специфіка України полягає в тому, що страна велика, і більш 70% території країни, де проживає понад 10 млн. чоловік, не мають централізованого енергопостачання. Це, перш за все, гірські райони, східні регіони, гірська місцевість з відгінним і пасовищного тваринництвом. Вартість палива, що доставляється в віддалені населені пункти Львівської області, Івано-Франківську, Волині (Дизельне паливо, бензин, мазут, масла), в зв'язку з транспортними витратами, значно зростає в порівнянні з цінами виробників. Тому в таких районах, по можливості, необхідно використовувати місцеві альтернативні джерела енергії, в тому числі енергію Сонця.

Зараз країни всього світу прагнуть розвивати використання поновлюваних джерел енергії, і багато хто з країн займаються цією проблемою на державному рівні з наступних причин [4]:

- зменшення залежності від імпорту органічного палива (в основному нафти і газу);
- забруднення навколишнього середовища;
- можливість інтеграції енергоустановок на основі відновлюваних видів енергії в існуючу енергетичну мережу;
- можливість застосування і розвитку наукоємних технологій;

- невичерпність ВДЕ;
- доступність поновлюваних ресурсів.

Для теплопостачання і гарячого водопостачання житлових і технологічний супровід тваринницьких комплексів використовують сонячні колектори (СК).

У сільському господарстві сонячні колектори застосовують для опалення та гарячого водопостачання житлових і тваринницьких об'єктів, для сушки фруктів, зерна та іншої продукції, розпарювання корми. Собівартість теплової енергії, що виробляється сонячними колекторами, в кілька разів перевищує собівартість тепла, одержуваного від традиційних видів енергії. Зниження вартості теплової енергії, що виробляється сонячними колекторами, може бути досягнуто за рахунок зменшення капітальних витрат на сонячну установку і застосування більш ефективних конструкційних матеріалів, а також підвищення ефективності роботи сонячних колекторів, тобто збільшення продуктивності шляхом зменшення теплових втрат.

1 СУЧАСНИЙ СТАН СОНЯЧНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ТЕПЛИЦЬ ЗАХИЩЕНОГО ГРУНТУ

Найбільш енергоємна галузь сільськогосподарського виробництва - вирощування овочів в умовах закритого ґрунту. Наприклад, стандартний теплично-овочевий комбінат площею 6 га в Україні споживає за 1 годину близько 125-145 ГДж теплоти, на що щорічно витрачається до 11 млн. м.

При сучасних технологіях, теплоенергетичному обладнанні і конструкціях теплиць споживання електричної енергії становить 80 кВт-год на 1 м² в середньому по країні і в існуючих конструкціях теплиць сонячна енергія використовується тільки на 10% як джерело фотосинтезу і лише незначна частина на обігрів.

Сучасні тепличні господарства України зазнають великих економічних збитків через, їх енергоємності, високу собівартість ранньовесняних. і пізньо-осінніх овочів. Для задоволення зростаючої потреби населення в дешевих екологічно чистих овочах необхідні високоефективні багатоцільові теплиці цілорічної дії;

Витрати на обігрів в існуючих опалювальних теплицях становлять понад 50% вартості готової продукції. Річні витрати теплоти для обігріву 1 м² зимових теплиць зі скляним огородженням знаходиться в залежності від району України в межах 0,72-1,16 Гкал / м для ангарних теплиць і 0,722-1,293 Гкал / м для блокових.

Для умов Одеського регіону, для обігріву 1 м² зимових теплиць з подвійним склінням; річна витрата складає 0,37-0,52 Гкал / м² і 0,61-1,16 - з одинарним. У той час як саме на опалювальний період в умовах Дніпропетровської області спостерігається великий прихід сонячної радіації,

і безумовно, цей потенціал необхідно максимально використовувати для теплопостачання і технологічних потреб в теплицях.

У різних країнах світу проводяться дослідження з використання сонячної енергії для опалення теплиць.

Цікавий досвід використання сонячної енергії для опалення теплиць в Німеччині, Іспанії, Італії. Економія витрат на опалення становить від 30 до 48% з терміном окупності від 1 року до 7 років. У США проведені дослідження по використанню циркуляційного повітря для підземного обігрівання, в Великобританії обігрів кореневої зони рослин в теплицях використовується для зниження витрат на опалення, встановлено, що при температурі кореневого шару 25° температуру вирощування деяких культур можна знизити до $13-15^{\circ}\text{C}$ вдень і до $7 \dots 2^{\circ}$ вночі.

У нашій країні свого часу були запропоновані геліоустановки для опалення теплиць (рис. 1.1)

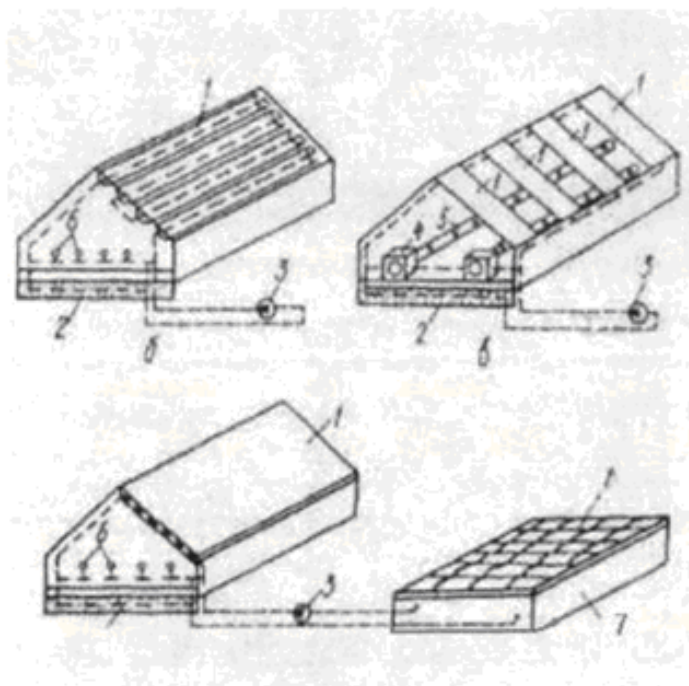


Рисунок 1.1 Системи геліоопалення теплиць з різними видами розташування колекторів

Для овочівників-любителів овочевий дослідною станцією ім. В. І. Еделиптейна Московської сільськогосподарської академії ім. К. А. Тімірязєва

був розроблений проект індивідуальної геліотепліці з акумуляцією сонячного тепла в ґрунті (рисунок 1.2).

Принцип дії системи опалення цієї геліотепліці полягає в здійсненні за допомогою осьового вентилятора замкнутої циркуляції внутрішнього повітря по системі підґрунтя труб і в обсязі теплиці. У денний час вентилятор нагнітає нагрітий сонцем повітря з теплиці в труби системи ґрунтового обігріву, де він віддає тепло теплоаккумулюючого шару і ґрунту і охолоджений надходить в теплицю. Вночі йде зворотний процес за рахунок накопиченого за день в ґрунті і акумулює шарі тепла. Температура повітря, що проходить по ґрунтовим трубах, підвищується з деяким зниженням його відносної вологості і він надходить в об'єм теплиці. У проекті раціонально вирішене питання додаткового обігріву теплиці і житлового приміщення однією піччю.

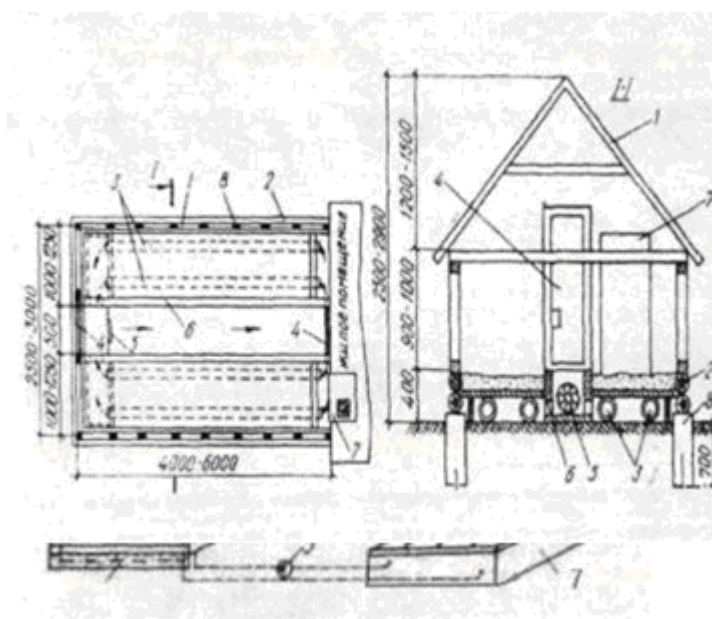


Рисунок 1.2 - Плівкова теплиця індивідуального користування з акумуляцією сонячного тепла

З великих українських досліджень, проведених в кінці ХХ століття, слід зазначити теоретичні роботи з аналізу температурного і вологого режиму в геліотепліцах різної конструкції в НВО "Сонце" АН Туркменії Р.Б. Байрамова і Л.Е. Рибаквої [10]. Сонячні теплиці за проектом В.Б. Вейнберга і Н.Н. Боева були побудовані в 1931-1934 рр., де був досягнутий максимум

вхідної сонячної радіації [19,14]. У 1957 р була запропонована Б.В. Петуховим оригінальна конструкція сонячної теплиці, де вперше були запропоновані використання камер з акумуляторами [42].

У 1959 р Х.А. Кісторян (Вірменія) досліджував ізотермічні акумулятори, які запропонував використовувати в геліотеплицях [30]. Оригінальні роботи з дослідження температурного режиму, визначення сум Марн радіації, що входить в теплицю і акумулювання її протягом доби виконані Садиковим Т.А. в 1967 р (Туркменія). П. Рзаєв (Азербайджан) вперше в якості теплового дублера в геліотеплицях рекомендував використовувати енергію вітру [45]. Усманов Ю. (Узбекистан) в 1971 р Розробив рекомендації щодо практичного використання сонячних соляних басейнів для акумуляції сонячної енергії у вигляді тепла [61].

Цікавий досвід М. Кіма (Узбекистан, 1957 г.) зі створення механічно стійкою конструкції з можливістю акумулювання сонячної енергії. Їм сконструйовані і вивчені в процесі експлуатації напівциліндричні геліопарники з акумуляторами і без них [28]. Рациональні схеми суміщення функцій геліотеплиць з акумуляторами тепла: підґрунтовим з масивом гальки і підґрунтовим з тепловим зрошенням запропоновані А.Б. Вардіяшвілі (Грузія, 1990 г.) [16].

У статті С.М. Трушевський (ВІЕСХ) [58] розглянута можливість істотного зниження тепловтрат шатра зимових теплиць за допомогою застосування подвійного огорожі і раціонального використання сонячної енергії на прикладі Центрального регіону Росії. Для ефективного використання надлишку сонячного тепла за рахунок застосування лінз Френеля, які забезпечують рівномірну

освітленість і запобігають перегріву рослин, а також забезпечують нагрів теплоносія.

Дуже цікавий досвід досліджень в умовах різкоконтинентального клімату Монголії, проведений Г. Пуревдоржем в 1990-98 рр., Який довів можливість вирощування овочів в сонячній теплиці з березня по жовтень без

додаткового обігріву від інших джерел [28]. В останні два десятиліття багато зусиль було зроблено дослідниками різних країн з метою вивчення можливостей використання сонячної енергії для опалення теплиць. В результаті науково-дослідних робіт були розроблені сотні сонячних систем, але мало хто з них знайшли практичне застосування. Сьогодні багато дослідників зосередили свої зусилля щодо поліпшення ефективності пасивні

1.1 Технології опалення сонячних теплиць

Технології опалення використовують акумулятори з водою, кам'яні грядки - акумулятори, акумулятори зі зміною фази матеріалів, теплові штори. Системи можуть бути розміщені всередині теплиці, в якій відбувається теплообмін безпосередньо між системою і повітрям теплиці. Також були використані для зберігання теплової енергії поліетиленові пакети, пластикові труби заповнені водою, їх укладають на шляху між рядами рослин або уздовж північного боку теплиці, які виступають в якості сонячних колекторів та акумуляторів тепла.

Деякі важливі дослідження систем з використанням води для теплового акумулювання енергії показали, що теплові акумулятори з водою мають значний вплив на температуру повітря в приміщенні. Система може забезпечити 30-70% навантаження опалення. Для ефективного зберігання тепла у вигляді повітря дослідниками широко

використовували в якості теплоакumuлюючого матеріалу (ТАМ) гальку і гравій.

Популярний підґрунтовий акумулятор з ТАМ з гравію розміром 20-100 мм, який знаходиться під або поруч з грядкою-на глибині від 40 до 50 см. Система може підтримувати температуру на 2-10 ° С вище температури зовнішнього повітря і може покрити 30-75% від потреби опалення теплиці. Важливі дослідження, що стосуються використання теплових штор в теплицях, що проводяться різними дослідниками довели свою ефективність під час екстремальних зимових ночей.

З дослідження, проведеного Grafiadellis (1991р. Європейське співтовариство з технічних і економічних аспектів найважливіших сонячних систем), було доведено, що сонячним ставків, з фазовим зміною матеріалами і теплових насосів необхідний дуже високий рівень інвестицій, вони мають дуже високі щорічні експлуатаційні витрати і з сьогоднішніми цінами на паливо не економічні.

Інша група сонячних систем, де сонячна система використовується з підґрунтовим обігрівом грядок, теплообмінна система земля - повітря і системи з плоскими сонячними колекторами також дуже дорогі і не завжди економічні. У тому ж дослідженні було показано, що в третій групі сонячних систем з пасивними сонячними системами (ПСС) і системою розпилення води в теплицях дуже низькі капітальні та експлуатаційні витрати (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1. Технічні та економічні характеристики основних сонячних систем, які використовуються в теплицях.

Вид сонячної системи	Підвищення температури, град С	Вартість 1 м ² теплиці	
		Капітальні затрати \$	експлуатаційні витрати \$
Плоский пластик. сонячний колектор	4...5	6499	3519
Системи обміну теплом земля-повітря	5...8	17812	6400
Сонячні пруди	10...15	40624	15625
Підґрунт, обігрів грядок сонячною системою	5...8	16750	6031

пасивні сонячні системи	4...5	494	494
Зміни фаз матеріалів	10...12	30000	10759
Теплові насоси	10	51250	19375

1.1.1 Пасивні сонячні системи для опалення теплиць

Системи сонячного нагріву характеризуються або підігрівом води або повітря, які потім розподіляються по всій теплиці, за допомогою вентилятора або насоса (активні системи) або природним шляхом (пасивні системи).

Переваги активної сонячної системи це точний підведення тепла, кращий контроль і висока ефективність

Недоліками цих систем є висока вартість, необхідність електроенергії для приводу вентиляторів і насосів. ПСС з природною вентиляцією, забезпечуючи теплом теплицю не вимагає зовнішніх джерел енергії, є простими, зрозумілими, недорогими, естетично більш привабливими, ніж звичайні системи активної.

Одним з головних недоліків ПСС є неможливість контролю сонячного збору тепла і акумулювання його в структурі теплиці. Однією з перших робіт по використанню ПСС для захисту овочів під прикриттям була виконана в Нідерландах Sondern, J.A., 1967) [95]. Airhart, D.E., (1984)) досліджував ПСС з акумулюванням в кам'яній грядці глибиною 30см.

Для захисту; парникових культур від морозів Woolston; S., (1985) [98] використовував в сонячній системі ТА (Фінляндія), заповнені водою цистерни, сталеві бочки, гравій; чорні труби і зазначає, що ці кошти були в змозі компенсувати, вплив негативної; температури зовнішнього повітря всередині теплиці.

Спочатку розроблена фірмою HBO «GERES» (Франція) модель сонячної теплиці з місцевих матеріалів була, вдосконалена індійськими фермерами з метою зниження її вартості, (рис. 1.3.), Потім с. успіхом впроваджені в Індії (Лахауї, Спіті, ладах), Китає- (провінція Цинхай), Непалі (Мустанг) .Овощі можна вирощувати в самий розпал зими; коли температура опускається нижче -15°C .

Сонячна теплиця, яка ефективно використовувалася в: Китаї для вирощування овочів протягом зими, була досліджена в холодних погодних умовах Манітоби (рис. 1.4.).

Теплиця орієнтована на південь для максимального поглинання сонячної енергії, північна стіна зберігає сонячну енергію вдень і випускає теплову енергію в нічний час; Попередні дані досліджень показали, що застосування сонячної теплиці в зимову погоду в Манітобі можливо.В Протягом лютого денна температура в оранжереї була вище 15°C , а нічна температура залишалася вище 0°C , коли зовнішня температура була нижче -30°C .

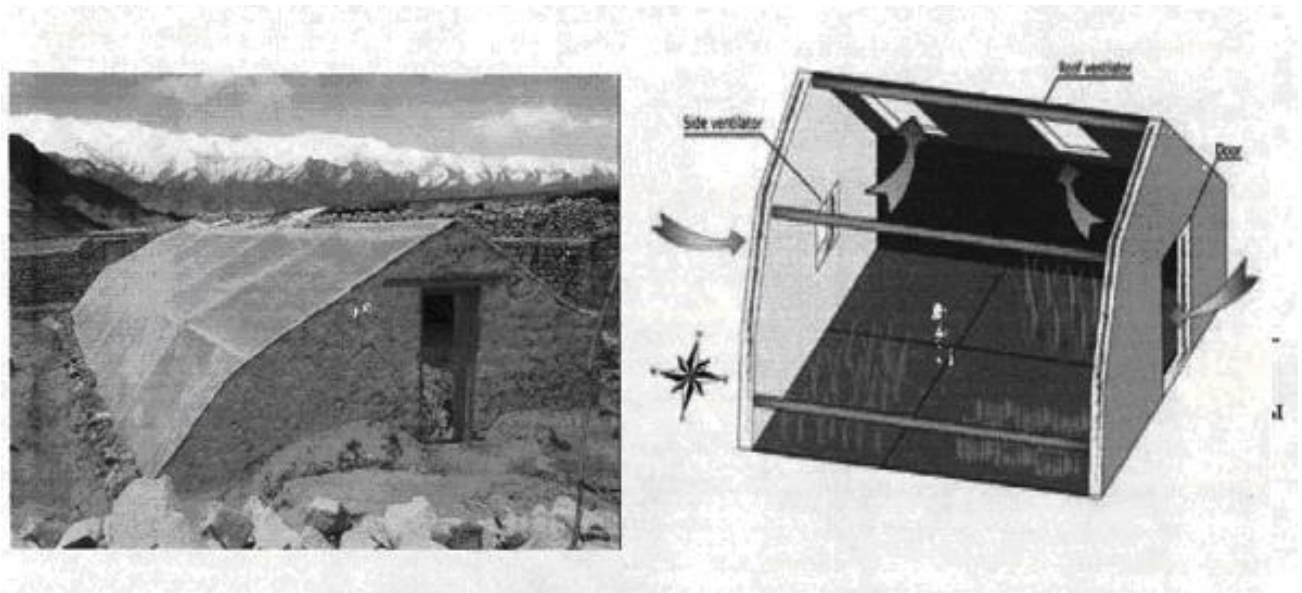


Рисунок 1.3 - проект удосконаленої сонячної теплиці (Ладах, Італія)

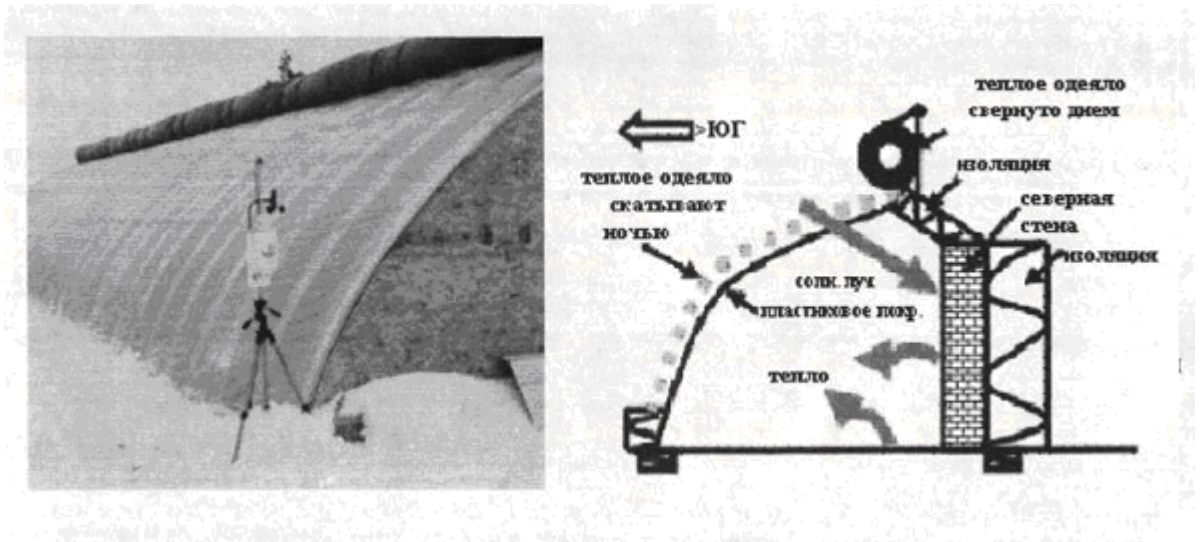


Рисунок 1.4 – Вид збоку сонячної теплиці Манітоби (Канада)

1.1.2 Сонячні теплиці з тепловими акумуляторами і підземними системами опалення та охолодження

З цією метою в ґрунті на глибині близько 30-35 см укладаються труби, бажано тонкостінні діаметром 110 мм і більше з поліетилену, азбестоцементу, металу. Кінці труб з одного боку виводяться з-під землі для забору повітря, з іншого - з'єднуються в батареї, від яких прокладаються канали подачі повітря на північній

стіні або всередині її під перекриття. Канал закінчується коробом електровентилятору.

Чим інтенсивніше потік повітря і більше підземних повітропроводів, ширше приміщення теплиці, тим нижче буде температура в теплиці в спекотний сонячний день. Вночі, коли сонячна енергія не надходить, повітря, пройшовши цей же шлях і нагріваючись теплом, акумульованих в ґрунті, підвищує температуру всередині теплиці. Цей спосіб акумулювання сонячного тепла вперше був запропонований О.Іванько і докладний опис сонячної теплиці, названої ним вегетарій (Рис. 1.5.).

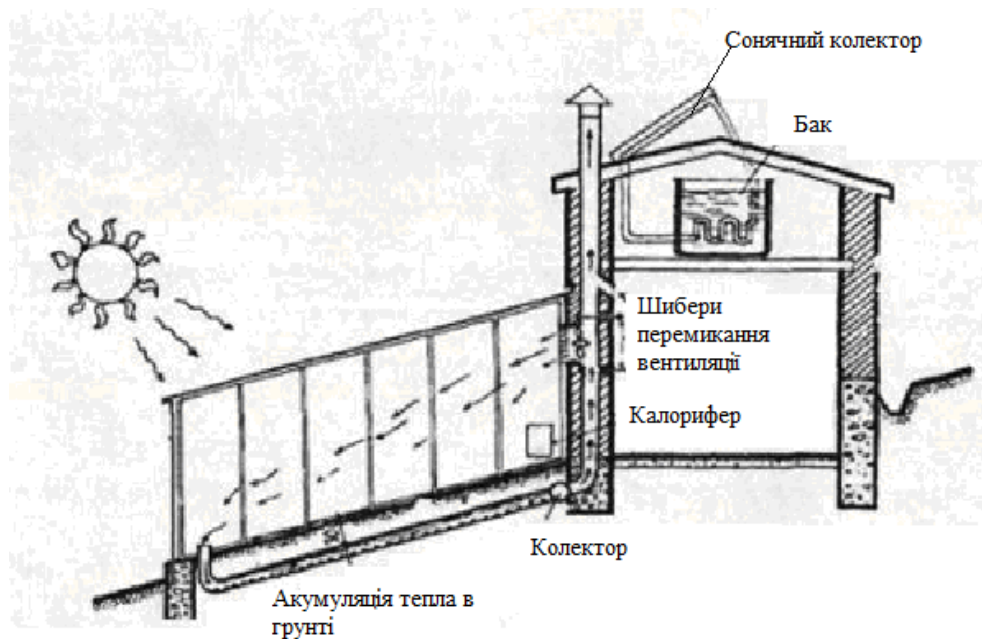


Рисунок 1.5 – Система повітряного акумулювання тепла в ґрунті з примусовою вентиляцією з використанням поліетиленових та металевих труб.

Дуже важливо знизити відносну вологість повітря в нічний час і не допустити випадання роси на рослини, щоб уникнути їх захворювання і прискорити плодоутворення. Аналогічні системи з трубами для конденсації і випаровування води під рослинами розроблені в Китаї рис.1.4. На рис. 1.6. прямокутні канали з цегли (0,6x 0,5) прокладені зі сходу на захід на глибину 20 ", крім посадочних місць. Вони тісно пов'язані з бічними каналами (20x28) десятима каналами в напрямку схід-захід через вентилятор, розташованим в центрі на східній стіні. Вентилятор має вихід / вхід в повітряний простір.

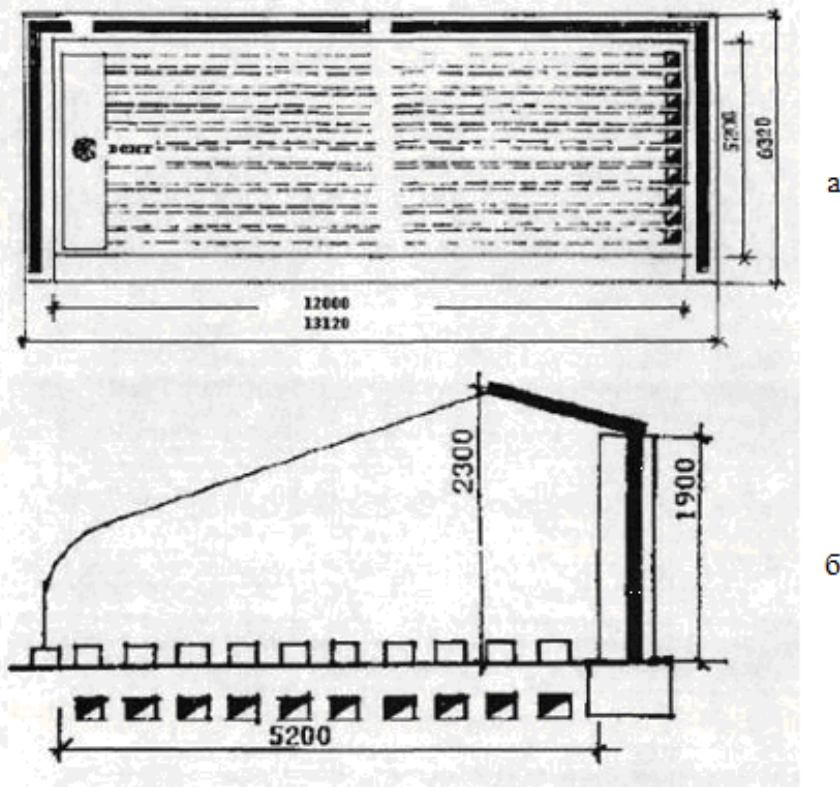


Рисунок 1.6 – Сонячна теплиця

а – підземна система опалення та охолодження; б – поперечний переріз цегляних каналів.

Волога випаровується в цегляних каналах і підвищує температуру і вологість повітря в теплиці, коли він занадто холодний і сухий. Повітря з каналів виходить в теплицю через вертикальні канали, на західному кінці. Вентилятор всмоктування 370 Вт, 2800 об / хв, 1930 м³ (пов'язаний 10 каналами в напрямку схід - захід) управляються двома термостатами. Він споживає близько 3 кВт-год / день для прогону повітря по десяти каналах

Переваги:

Волога конденсується в цегляних каналах, знижуючи температуру і вологість повітря в теплиці, коли він занадто гарячий і вологий.

1. Волога випаровується в цегляних каналах, підвищуючи температуру і вологість повітря в теплиці, коли він занадто холодний і сухий.

2. Потоки повітря уповільнено рухаються навколо теплиці, вирішуючи більш рівномірний розподіл температури і вуглекислого газу.

3. В опалювальній системі сонячних теплиць Д.Ропера (США) замість сирцевої цегли на довгий канал використані тонкостінні 10см гофровані, перфоровані, гнучкі поліетиленові дренажні труби довжиною 180см на кожні 4 м² посадкового місця (рис.1.7.).

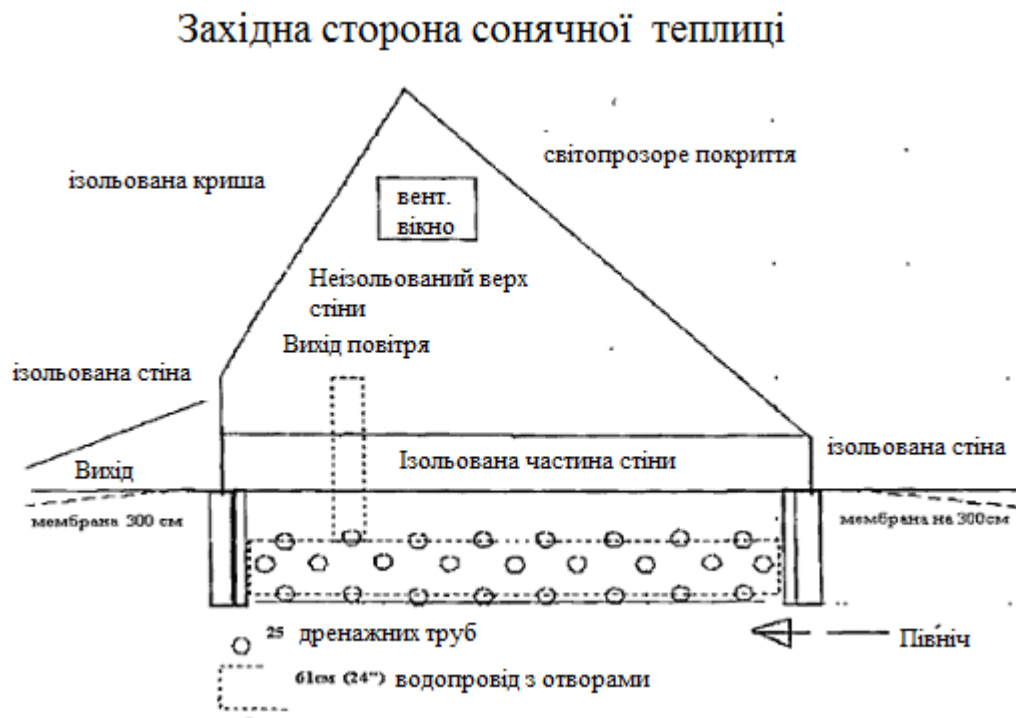


Рисунок 1.7 – Поздовжній переріз теплиці Д.Ропера з поліетиленовими гофрованими трубами.

У дуже холодному кліматі можна отримати вигоду від використання відбивачів рис.1.8. Вентиляція верхньої і нижньої частини стіни житлового простору дозволяє нагрітому повітрю рухатися, (гаряче повітря легше холодного) з простору між стеклами і стіною і через верхні отвори в інтер'єр будівлі. Засклений фасад (19,5 кв.м) орієнтований на зимове сонце і ізолюваний вночі екранує системою «Beadwall» з кульок для збереження мінімальної температури повітря 12.8 ° C.

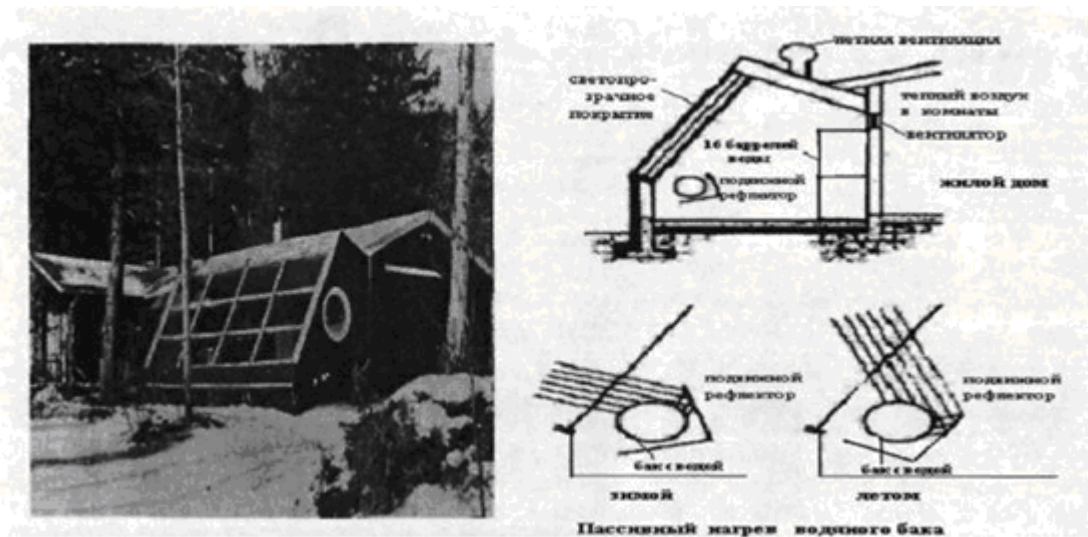


Рисунок 1.8 – Сонячна теплиця для холодної весни - Колорадо

В умовах холодного клімату вигідно використовувати акумулятори тепла, під будівлею. За допомогою вентиляторів і регулюючих пристроїв можна більш ефективно управляти потоками повітря в порівнянні з системами, що діють з використанням природної циркуляції. Це особливо помітно в тих випадках, коли повітря доводиться переміщати на значні відстані в напрямку, протилежному природному.

Дослідження, проведені в Фінляндії показали рентабельність застосування вентиляторів, оскільки це дозволяє накопичувати великі запаси сонячної енергії приблизно на 30% більше, ніж в системі з природною циркуляцією повітря без ТА.

1.1.3 Вплив параметрів теплоаккумулюючої маси на акумулювання сонячної енергії

Звичайна теплиця при великій поверхні застеленого огорожі погано акумулює сонячну енергію, перш за все через незадовільні характеристик її теплоізоляції і герметизації. Для підтримки температури, необхідна енергія на опалення. Наприклад, звичайна оранжерея або теплиця, яка функціонує круглий рік, витрачає приблизно в 10 разів більше енергії, ніж невеликий індивідуальний будинок.

При розміщенні теплоаккумулюючої маси в теплиці різницю між денною та нічною температурами повітря значно зменшується. У теплиці, що має таку масу, час досягнення максимальної температури зміщується на 2-3 год.

У Швеції в Вищому технічному училищі Чалмерса були досліджені різні системи, в яких сонячна енергія, накопичена в теплиці,

використовувалася для опалення квартири. При цьому забезпечується інтенсивний перехід тепла розігрітого повітря в матеріал залізобетонних плит, в результаті чого підвищується температура повітря в квартирі.

Більш економічне рішення полягає у використанні в якості теплоаккумуляторів таких матеріалів, які одночасно служать будівельним матеріалом конструкцій підлоги або стіни.

Передача теплоти камінню все-таки не дуже ефективна. Досвід, отриманий в Фінляндії і Швеції, показав, що тільки одна третина або половина каменів (з усього числа взятих) бере участь в акумулюванні теплоти. У порівнянні з бетонними плитами, що мають конструктивні порожнини і забезпечують участь 80-90% маси плит в акумулюванні теплоти, кам'яний ТА щодо менш ефективний.

Для ефективної передачі теплоти в цегляну або блочно-бетонну стіну з конструктивними порожнинами треба використовувати вентилятор. У пустотілих бетонних плитах, наприклад на довжині 6 м, масі бетону може передаватися в залежності від швидкості подачі теплого повітря приблизно половина теплоти. Бетон майже цілком бере участь в процесі акумулювання теплоти, завдяки відносно невеликій товщині плити і густій мережі пустот. З пустотілих плит можна споруджувати стіну між теплицею і квартирою або підлогу теплиці

безпосередньо на теплоізолюючих поверхні, а також в квартирі, де використовуються, наприклад, плити, вже мають теплоізоляцію з нижньої сторони. Крім того, проміжне і верхнє підстави підлоги в кам'яних будівлях також можна виконати з пустотілих бетонних плит.

Одне з таких конструктивних рішень реалізовано в університеті Шеффілда (Англія) для експериментального будинку SHED (Solar Heated Experimental Dwelling) У цьому будинку є теплиця, що займає всю південну стіну будинку. Як тільки температура повітря в теплиці піднімається вище, ніж це потрібно для росту рослин, повітря звідти за допомогою вентиляторів передається в ТА. На підставі випробувань були, отримані наступні результати: система ефективна, якщо вона обладнана вентиляторами і теплоаккумулятором.

1.2 Характеристики і властивості теплоакumuлюючих матеріалів

Необхідність акумулювання теплоти в геліосистемах обумовлена невідповідністю в часі і за кількісними показниками надходження сонячної радіації і теплоспоживання. Потік сонячної енергії змінюється протягом доби від нуля в нічний час до максимального значення в сонячний полудень.

Оскільки теплове навантаження опалення максимальна в грудні - січні, а надходження сонячної енергії в цей період мінімально, для забезпечення теплоспоживання (Q) необхідно вловлювати сонячної енергії більше, ніж потрібно в даний момент, а її надлишок накопичується в акумуляторі теплоти. Запас енергії в акумуляторі може бути розрахований на кілька годин або діб при короткостроковому акумулюванні і на кілька місяців - при сезонному акумулюванні. Слід зазначити, що застосування сезонних акумуляторів поки економічно недоцільно. В цілому ж застосування ТА підвищує ефективність геліосистеми.

Низькотемпературні системи акумулювання теплоти охоплюють діапазон температур від 30 до 100 ° C і використовуються в системах повітряного (30 ° C) і водяного (30 - 90 ° C) опалення та ГВП (45 - 60 ° C). Система акумулювання теплоти, як правило, містить резервуар, ТАМ, за допомогою якого здійснюється накопичення і зберігання теплової енергії, теплообмінні пристрої для підведення і відведення теплоти, при зарядці і розрядці ТА і теплову ізоляцію.

Акумулятори можна класифікувати за характером фізико-хімічних процесів, що протікають в ТАМ: ТА ємнісного типу, в яких використовується теплоємність нагрівається (охолоджується) акумулює матеріалу: без зміни його агрегатного стану (природний камінь, галька, вода, водні розчини солей); ТА фазового переходу речовини; в яких використовується теплота плавлення (затвердіння) речовини;

- ТА енергії, засновані на виділення і поглинання теплоти - при оборотних хімічних і фотохімічних реакціях.

В ТА першої групи відбуваються послідовно або одночасно процеси нагрівання та охолодження теплоакumuлюючого матеріалу або безпосередньо за рахунок сонячної енергії, або через теплообмінник. Цей спосіб акумулювання теплової енергії; найбільш широко поширений. Основним їх недоліком є їх велика маса і як наслідок цього - потреба у великих, площах і будівельних обсягах в розрахунку, на 1 ГДж акумульованої теплоти.

Система акумулювання теплової енергії характеризується наступними параметрами: теплоаккумулюючої здатністю або питомою енергоємністю $E_{дж} / м$.; діапазоном робочих температур, К; швидкістю підведення і відведення теплоти при зарядці і розрядці акумуляторів, $кДж / с$. Для повітряних геліосистем в якості ТАМ використовують гальку, гравій. Однак гальковий акумулятор при однаковій енергоємності в порівнянні з водяним акумулятором має в 3 рази більший обсяг і займає в 1,6 рази більшу площу. Щільність акумулювання теплоти в значній мірі залежить від методу акумулювання і роду речовини. Вона може бути акумульована в хімічно зв'язаному вигляді в паливі.

При цьому щільність акумулювання відповідає теплоті згоряння: нафто- 11,3; вугілля - 8,1; водень - 33,6 і деревина - 4,2 кВт-год / кг. При термохімічної акумулюванні теплоти в цеолітах (процеси адсорбції - десорбції) може акумулюватися 286 Вт-ч / кг теплоти при різниці температур 55К. Щільність акумулювання теплоти в твердих матеріалах (скельна порода, галька, граніт, бетон, цегла) при різниці температур 60К становить 14

- 17 Вт год / кг, у воді - 70 Вт год / кг. ТА ємнісного типу часто застосовують для акумулювання теплової енергії. Акумулювання теплоти може здійснюватися також в ґрунті, зокрема, цей спосіб акумулювання застосовується в теплицях.

1.2.1 Склад і адсорбційні властивості пористих матеріалів України

Найбільш вивчені фізико-хімічні властивості висококремнистих цеолітів Сокирянського родовища. У зонах до інтенсивної цеолітизації, ці родовища представлені в основному кліноптілоліта з домішкою натрієвих смоктати. Хімічний склад туфів відповідає закономірностям для цеолітів даного типу.

У зразках, що включають кліноптілоліт і гейландит, спостерігається досить високий вміст калію (3,4 - 6,3% K₂O) відношення Si / Al коливається в межах 4,8 - 7,5 (табл. 1.2). Зміст цеоліту в породах родовища коливається від 8 до 88%, становить в середньому 57%.

Таблиця 1.2 Хімічний склад природних цеолітов

Зразок	Склад , відсотки									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	MnO	K ₂ O	ппп	SiO ₂ / Al ₂ O ₃
1	67,2	10,2	0,16	0,56	0,11	1,13	0,01	3,47	8,7	4,85
	74,7	12,5	1,87	1,94	0,62	3,90	0,21	5,5		7,5
	70,8	14,5	0,63	1,15	0,27	2,67	0,05	4,59		
2	66,4	12,6	0,82	1,24	0,4	2,5	0,19	4,03	11,29	5,25
										5,7
3	65,2	12,5	1,12	2,63	0,57	1,23	-	2,19	14,66	5,1

										5,3
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----

Визначальними структурно-технологічними властивостями фільтруючих матеріалів є межзернова пористість, розмір і форма зерен, щільність і механічна міцність.

При визначенні насипної щільності, об'ємної маси і механічної міцності матеріалів були використані загальноприйняті методики. Результати визначення механічної міцності цеолітів, отримані за даною методикою, представлені в таблиці 1.3. Умовна механічна міцність приймається як сумарні втрати фільтруючого завантаження в умовах, що імітують промивку виробничого фільтру протягом року.

З даних табл. 1.3 видно, що Сокирянські цеоліти, кварцити мають більшу міжзернову пористість в порівнянні з кварцитом, задовільною механічною міцністю, тому що за стиранням та подрібненістю вони відповідають.

Таблиця 1.3 Фізичні характеристики фільтруючих матеріалів

Матеріал	Середній діаметр зерен, см	щільність, кг/м ³	об'ємна маса, кг/м ³	Міжзернова пористість, відсотки		Механічна міцність, відсотки	
				min	max	істирання	подрібнення
1. Цеоліт	1,7	2160	950	55,0	63,8	0,3	3,7
2. Галечник	1,7	2500	1230	46,7	54,1	0,5	4,5
3. Місцеві						0,5	4,0

матеріали							
-----------	--	--	--	--	--	--	--

Адсорбційні властивості пористих матеріалів

Поверхневі явища широко поширені в навколишньому світі, що представляють собою багатозфазну систему. Кожна фаза має

свої межі, що відокремлюють її від сусідніх фаз. Поверхня розділу фаз має свої особливості, обумовлені наявністю некомпенсованого силового поля. Фізичні (щільність, електропровідність, теплопровідність і ін.) і хімічні властивості речовини в безпосередній! близькості від поверхні розділу фаз відрізняються від цих властивостей в обсязі фаз.

Одне з найважливіших особливостей є поглинати речовину з обсягу фаз, концентрувати його на поверхні. Це поглинання називається адсорбцією. Очевидно, що величина адсорбції при даних умовах тим більше, чим більше поверхня розділу фаз. У разі системи газ - тверде тіло адсорбція тим більше, чим більше поверхня твердого тіла. Особливо ця роль велика в системі пар або газ - тверде тіло. Так, при адсорбції парів води її концентрація збільшується більш ніж в 1000 разів. Детальний опис механізму адсорбції на пористих матеріалах дано в монографії Карнаухова А.П .. Термодинамічний опис цього явища виражається вільної-поверхневою енергією Гіббса:

$$G = A \cdot \sigma, \quad (1.1)$$

де: A - величина поверхні,

σ - поверхневий натяг.

Практично всі адсорбційні процеси екзотермічні. Найбільш важливий випадок адсорбції парів відбувається на поверхні твердих тіл. При фізичної адсорбції діють молекулярні ван-дер-ваальсові сили. Вони можуть бути трьох видів. Це дисперсійні сили, викликані узгодженням зміною електронної

щільності зближуються молекул, що призводять до виграшу енергії і викликають конденсацію парів в рідину. Величина цього виграшу є теплоту конденсації. Проте рух електронів узгоджується для різних за своєю природою атомів або молекул. У більшості випадків теплота адсорбції дещо більше теплоти конденсації. Інший вид взаємодії - це орієнтаційне, викликане орієнтацією дипольних молекул адсорбата відповідно до розташування і знаком зарядів на поверхні адсорбенту. При такій орієнтації також виграється енергія, яка є внеском до загального парниковий ефект адсорбції. Третій вид називають індукційним взаємодією, обумовленим індукцією дипольних моментів в частинках адсорбенту під впливом адсорбуючихся диполів. Всі три види взаємодії призводять до ван дер Ваальсових адсорбції. Але тільки дисперсійне взаємодія вносить найбільший вклад в виграш енергії.

1.3 Висновки до розділу

1. Аналіз результатів науково-дослідних робіт з вивчення можливостей сонячних систем для опалення теплиць, показав, що деякі розробки в подальшому знайшли практичне застосування:

- сонячні ставки, матеріали з фазовим зміною і теплові насоси вимагають великих інвестицій, мають високі щорічні експлуатаційні витрати і з сьогоднішніми цінами на паливо не економічні.

- сонячні системи з підґрунтовим обігрівом грядок, теплообмінна система 'земля-повітря і системи з плоскими * сонячними колекторами також дуже дорогі і не завжди економічні.

2. Багато дослідників за останні 20 років зосередили свої зусилля щодо поліпшення ефективності пасивних сонячних систем ШСС, так як вони мають дуже низькі капітальні та експлуатаційні витрати.

3. Але і ПСС, як показали дослідження в умовах холодного клімату (північ Канади, Китаю, Тибет, Фінляндія, Швеція) без теплових акумуляторів

не дадуть такого ж ефекту, як в теплом і помірному кліматі країн, де, в основному, ПСС широко використовуються для опалення будинків.

4. Великі радянські дослідження, проведені в кінці XX століття, по акумулюванню енергії сонячного випромінювання (Ю.П. Якубов, Узбекистан), по раціональним схемами поєднання функцій геліотеплиць з акумуляторами тепла (А.Б.Вардіяшвілі, Грузія) проведено в умовах теплового клімату, а в останні роки (Китай, США) хоча і в помірному кліматі.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Огляд технологій, для забезпечення мікроклімату

Автоматичне управління дозволяє підтримувати в теплиці задані технологічні параметри мікроклімату. Крім того, це дає значний економічний ефект, так як забезпечує оптимальні умови вирощування рослин та різних овочевих культур при найменших витратах теплоти на обігрів теплиць.

Основні функції системи автоматичного регулювання полягають в наступному:

- автоматичне регулювання температури повітря;
- автоматичне регулювання обігріву;
- автоматичне керування освітлювальними установками;
- автоматичне керування циркуляцією повітря.

Портативний вимірювач температури ІВТМ – 7

Прилад призначений для вимірювання температури, а також для визначення інших температурних характеристик повітря. Як чутливий елемент вимірювача температури використовується плівковий терморезистор, виконаний з нікелю. Принцип роботи приладу заснований на

перетворенні ємності датчика вологості і опору датчика температури в частоту з подальшою обробкою її за допомогою мікроконтролера.

2.2 Обладнання для мікроклімату

Обладнання (рис.2.1 і рис.2.2), розроблене головним конструкторським бюро з механізації овочівництва, призначений для автоматичного підтримання оптимального мікроклімату в теплицях площею до 1500 м². Регулювання температури повітря в бік підвищення відбувається за рахунок включення додаткового обігріву, а в бік зниження — за рахунок посилення

природної вентиляції через квартирки. Вологість регулюють періодичним розпиленням води в повітря.

В систему регулювання температури входять датчики температури, два калорифера, два електромагнітних вентиля. Датчиками температури служать електроконтактні термометри типу ТК-6 з регульованою магнітною головкою.

Два з них регулюють температуру вдень, два — вночі, а один сигналізує про аварійному зниженні температури. Один з термометрів кожної пари встановлюють на верхню межу заданого діапазону температур, інший — на нижній. При отриманні сигналу від датчика температури на включення опалення вступають в роботу двигуни калориферів і електромагнітні вентиля, що відкривають доступ теплоносія до калорифера.

Система зволоження повітря включає в себе датчики вологості, трубопроводи, розпилювачі, насосну станцію, регулятор температури води. Датчиком вологості служить двохпозиційний камерний влагорегулятор ВДК, включений в електричний ланцюг системи зволоження. Необхідне значення вологості задають, налаштовуючи влагорегулятор.

Пластмасові трубопроводи підвішують на розтяжках під покрівлею вздовж теплиці в три лінії з відстанню 3 ... 3,5 м від покрівлі теплиці і з кроком в лінії 3 м. Розпилювачі 10, що прикріплюються до труб, являють собою капронові насадки з двома отворами (діаметром 0 , 4 мм кожне), розташованими строго соосно, завдяки чому цівки води, що виходять з них під тиском, стикаючись, розбиваються в дрібний пил, яка утворює навколо розпилювачів віяло, що досягає 2 м у діаметрі. Розпилювачі закріплюють на трубопроводах в шаховому порядку з кроком в лінії 3 м. Для збору води і відведення крапель, що утворюються на трубах під час розпилювання та від конденсації водяної пари з повітря, під рубами встановлюють жолоби 9, по яких вода стікає в каналізацію. Насосна станція, призначена для подачі до розпилювачів теплої води під постійним тиском, складається з бака підігрівача 8 і відцентрового насоса 7 типу 2КМ-6 з електродвигуном.

Рівень води в баці підтримується поплавковим клапаном, а її температура — автоматичним регулятором прямої дії типу РТ, встановленим на вхідному патрубку змішувача, по якій пропускається підігріта вода.

У вузол вентиляції входять фрамуги з приводом 5 від двох електродвигунів через черв'ячні редуктори і чотири барабана з канатною системою і блоками. Кватирки можуть бути відкриті з правого або лівого боку теплиці або з обох сторін одночасно.

Для подачі команди на відкриття кватирок з підвітряного боку застосований електроконтактний флюгер 1, який встановлюється на даху теплиці. В залежності від напрямку вітру кулачок обертається частини флюгера впливає на мікроперемикач і замикає ланцюг включення вентиляції лівого або правого боку теплиці. В шафі управління передбачений вимикач SA5, блокуючий контакти флюгера для включення вентиляції з двох сторін. Шафа управління встановлюють у приміщенні (поза теплиці), де умови не перешкоджають нормальній роботі електрообладнання.

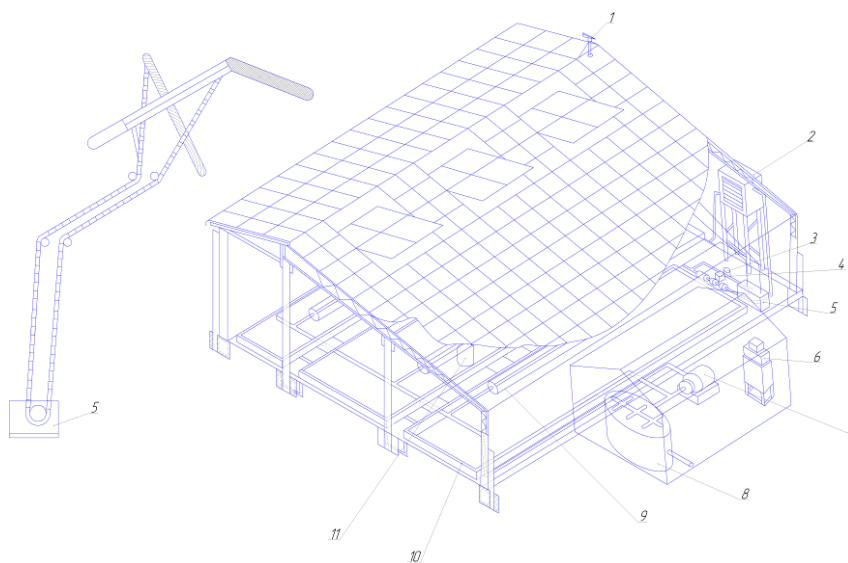
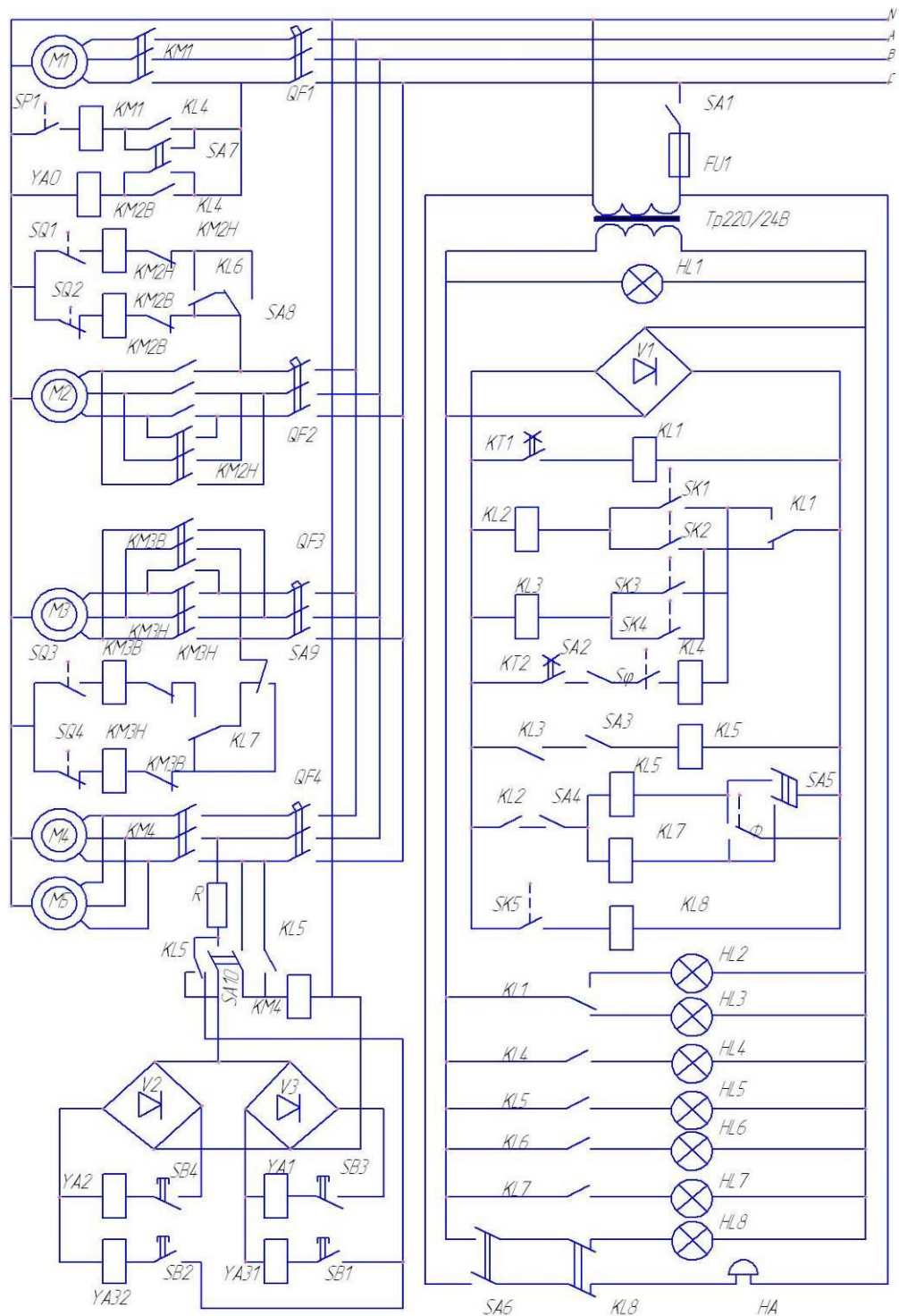


Рисунок 2.1 - Схеми обладнання теплиці:

1 - електроконтактний флюгер; 2 - калорифер; 3 - ручний вентиль; 4 - електромагнітний вентиль; 5 - привід відкривання кватирок; 6 - шафа управління; 7 - насос; 8 - водопідігрівач; 9 - жолоб; 10 - розпилювачі води; 11 – шафа з датчиками



8

Рисунок 2.2 - Управління обладнанням мікроклімату теплиці (схема електрична функціональна).

Програми роботи систем задаються програмним реле часу 2РВМ з приставкою, що дозволяє отримати витримки в 0.5..3 хв через потрібні проміжки. Реле 2РВМ має диск настройки з різьбовими отворами під

штифти в два ряди (для двох програм). Мінімальний час уставки першої програми 15 хв, другий - 20 хв. Через встановлений час штифти натискають на мікровимикачі, замикаються ланцюга харчування реле, які включають ланцюга відповідних програм. Перша програма задає денний або нічний режим роботи, друга періодично (через кожні 60 хв) включає систему зволоження із заданою тривалістю уприскування (до 2 хв).

У денному режимі роботи замикаються контакти реле часу KT1, спрацьовує реле KL1 і включає ланцюга датчиків температури дня SK1, SK3 і вологості повітря Sc. Термометр SK1 встановлюється на верхню межу регульованою температури (наприклад, 28 ° C), а SK3- на нижній (наприклад, 25 ° C), Якщо температура стане нижче 25 ° C, контакти датчика SK3 розмикаються, реле позбавляється харчування, контакти KL3 в ланцюзі реле KL5 замикаються. Реле KL5 через пускач KM4 включає електродвигуни M4 і M5 калориферів вентиляторів і електромагніти вентилів UA1, UA2, які відкривають доступ теплоносія в калорифери.

Електромагніти вентилів після спрацьовування втрачають харчування, проте вентиля, утримувані механічними засувками, залишаються відкритими, а контакти в ланцюзі електромагнітів засувки закриваються (вентилі готуються до закриття). Коли температура досягає 25 ° C, контакти SK3 замикають ланцюг реле KL3, яке розриває ланцюг живлення реле KL5, котушка пускача KM4 виключається з ланцюга струму, одночасно подається імпульс на електромагніти засувки UA31, UA32 і вентиля закриваються, а котушки засувки виявляються відключеними.

Якщо температура в теплиці перевищить 28 ° C, замкнуться контакти термометра SK1, поживавиться реле KL2 і замкне ланцюг живлення обмотки реле KL6 або KL7 в залежності від положення флюгера Ф (при установці двосторонньої вентиляції - одночасно обидва реле), а реле замкне ланцюг харчування котушок пускачів К.М2В або КМ3В, які включають електродвигуни приводів, які відкривають квартирки. Шайби на тросах квартирок натиснуть на кінцевий вимикач SQ1 або SQ3 і зупинять двигуни, залишаючи квартирки відкритими.

Коли температура знизиться до 28°C , ланцюг харчування реле KL2 розірветься, контакти його в ланцюзі реле KL6 і KL7 відкриються, реле KL6 або K.L.7 втратить харчування і його контакти замкнутий ланцюг пускача KM2H або KM3H, двигуни реверсують, кватирки закриваються. Після цього вимикач SQ2 або SQ4 відключить двигун. При зниженні температури до аварійно низької розімкнуться контакти датчика SK5; виводячи з ланцюга струму реле KL8, включаться звуковий і світловий сигнали.

Коли закриваються контакти реле часу KT2 по другій програмі і в разі зменшення відносної вологості повітря в теплиці по відношенню до заданої, замикаються контакти датчика вологості Sц. Реле KL4 включає пускач KM1 двигуна приводу насоса бака водопідігрівача і електромагнітний вентиль УАО системи зволоження, і вода надходить до розпилювачів. Через заданий час контакти реле часу KT2 розмикаються, реле KL4 позбавляє харчування пускач і електромагніт вентилі УАО. Впорскування припиняється. Про роботу системи сигналізують лампи HL1 ... HL7.

У нічному режимі роботи контакти KT1 розімкнуті, тому ланцюга реле KL1 і KL4 відкриті, система зволоження не працює, системою обігріву управляють датчики SK2 і SK4. Автоматичні вимикачі QF1 ... QF4 служать для включення і захисту двигунів.

2.3 Теплофізичний розрахунок теплиці

2.3.1 Призначення теплофізичного розрахунку

Теплофізичний розрахунок встановлює аналітичну зв'язок між необхідними параметрами мікроклімату в теплиці і необхідними для їх забезпечення потоками тепла і речовини, що взаємодіють в спорудженні. Це засіб кількісного аналізу закономірностей регулювання енергетичного режиму в теплиці. Спорудження розглядають як єдину енергетичну систему,

що включає в себе опалення, вентиляцію та теплотехніку огорожувальних конструкцій [6].

2.3.2 Етапи теплофізичного розрахунку

1 етап. Складання розрахункової схеми тепло - і масообміну в спорудженні.

2 етап. Складання системи рівнянь енергетичного балансу споруди, що відповідають прийнятій розрахунковій схемі і представляють собою фізико-математичну модель формування енергетичного режиму в теплиці.

3 етап. Приведення системи балансових рівнянь до розрахункового уяві підстановкою чисельних виразів.

4 етап. Чисельне рішення системи балансових рівнянь.

2.3.3 Прийняті допущення

При складанні розрахункової схеми енергетичного режиму теплиці прийняті наступні допущення:

нічний режим споруди;

масообменніє процеси відбуваються тільки в робочій зоні;

екран (рослини) як найгірший випадок з точки зору енергетичної забезпеченості споруди не враховують, тому що при наявності екрану знизиться променистий тепловий потік від ґрунту до огорожі;

впливу продуктів життєдіяльності рослин на вологісний режим в спорудженні також не враховують, тому що вночі транспирація рослин дорівнює нулю;

осредненние величини температур поверхонь огорожень, ґрунту, шарів повітря, потоків тепла і маси;

умови протікання процесів тепло- і масообміну в спорудженні і зовні стаціонарні;

термічним опором огорожі нехтують.

2.3.4 Розрахункова схема теплообміну в плівковій теплиці

Розрахункова схема енергетичного балансу плівковою теплиці в нічний час представлена на рис 2.3. Ця схема враховує витрати тепла на інфільтрацію Q_B , випаровування з ґрунту $Q_{\text{и}}$, конденсації вологи на внутрішній поверхні огороження теплиці $Q_{\text{конд}}$.

2.3.5 Фізико-математична модель формування енергетичного режиму в теплиці з одинарним покриттям

На підставі прийнятої розрахункової схеми енергетичного режиму теплиці складають системи рівнянь теплового балансу, в яких враховують потоки двох категорій [6].

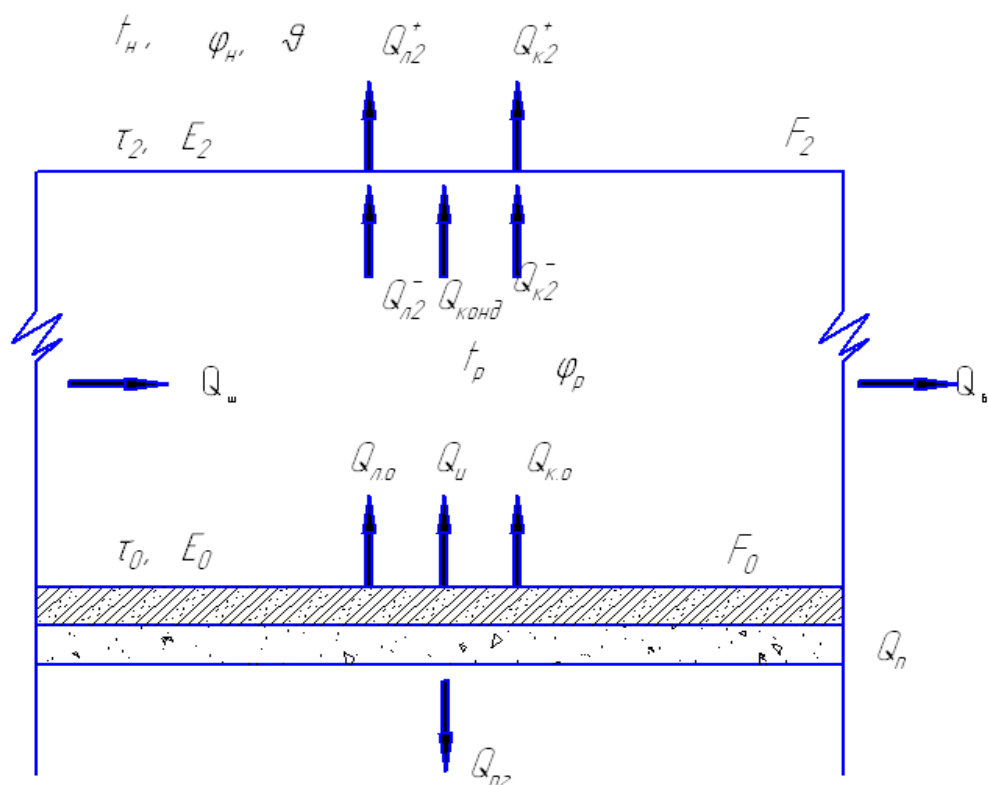


Рисунок 2.3 - Розрахункова схема енергетичного балансу теплиці з технічним обігрівом для нічного часу, з одинарним огородженням.

До першої категорії відносяться змінні потоки тепла і маси, які регулюються опалювально-вентиляційними пристроями. У систему балансних рівнянь вони входять як невідомі величини, що підлягають визначенню.

Другу категорію складають потоки, що характеризують тепло - і масообмін на поверхнях ґрунту, огорожі та в обсягах теплиці, пов'язані з фазовими перетвореннями, конвективним та променистим теплообміном, теплопровідністю ґрунту. Їх чисельно виражають через параметри, що визначають енергетичний стан системи: геометричні та фізичні константи, параметри зовнішнього і внутрішнього повітря. Теплицю розглядають, як якийсь простір, заповнене однорідним, добре перемешуваным газом і обмежене тонкої напівпрозорої дірчастою оболонкою, а також поверхнею полуограниченного масиву [7].

Методичний підхід до написання рівнянь теплового балансу для плівкової теплиці приймають відповідно до рекомендацій Гіпронісельпрома [8].

Рівняння теплового балансу для теплиці в цілому

$$Q_{ш} + Q_{п} = Q_{п.г} + Q_{к2}^{+} + Q_{л2}^{+} + Q_{в}, \quad (2.1)$$

де $Q_{ш}$ і $Q_{п}$ - встановлена теплова потужність (тепловий потік) відповідно систем шатрового і ґрунтового обігріву, Вт;

$Q_{п.г}$ і $Q_{в}$ - теплові потоки втрат відповідно в ґрунтовий масив і на інфільтрацію, Вт;

$Q_{к2}^{+}$ тепловий потік в результаті теплообміну конвекцією зовнішньої поверхні огорожі з навколишнім повітрям, Вт;

$Q_{л2}^+$ - променистий тепловий потік від зовнішньої поверхні огорожі, Вт.

Рівняння теплового балансу для поверхні ґрунту в теплиці

$$Q_{п} = Q_{п.г} + Q_{кo} + Q_{л.o} + Q_{и}, \quad (2.2)$$

де $Q_{кo}$ - конвективний тепловий потік від ґрунту до повітря в робочій зоні теплиці, Вт;

$Q_{л.o}$ - променистий тепловий потік від поверхні ґрунту в теплиці, Вт;
 $Q_{и}$ - тепловий потік, що характеризує витрату теплоти на випаровування вологи з ґрунту, Вт.

Рівняння теплового балансу на поверхні огороження теплиці

$$Q_{к2}^- + Q_{л2}^- + Q_{кoнд} = Q_{к2}^+ + Q_{л2}^+, \quad (2.3)$$

де $Q_{к2}$ - тепловий потік в результаті теплообміну конвекцією внутрішньої поверхні огорожі з повітрям в робочій зоні, Вт;

$Q_{л2}$ - променистий тепловий потік від внутрішньої поверхні огороження, Вт;

$Q_{кoнд}$ - тепловий потік, що характеризує виділення теплоти при конденсації пари на внутрішній поверхні огороження, Вт.

2.3.6 Вираз теплових потоків втрат через їх визначають параметри для теплиці

З плівковою огорожею:

$$Q_{п.г} = \frac{t_{iá} - t_f}{R_0^{ñð}} \cdot F_0, \quad (2.4)$$

де: $t_{об}$ і t_n — температура відповідно узагальнена і зовнішнього повітря, °C;

F — поверхня ґрунту в теплиці, м²;

R_{CP0} — середньозважена по площі величина опору теплопередачі ґрунту (приймається за даними [9]);

$$t_{ia} = \frac{133,9 - C_{i\partial} \left[55 - \left(\frac{\tau_2 + 273}{100} \right)^4 \right]}{\tilde{N}_{i\partial} = 8,6} \approx \frac{133,9 - \tilde{N}_{i\partial} [55 - (0,814 \cdot \tau_2 + 55,55)]}{\tilde{N}_{i\partial} + 8,6}, \quad (2.5)$$

де $C_{пр}$ -наведений коефіцієнт випромінювання;

τ_2 - температура поверхні огороження теплиці, °C;

$$C_{пр} = \frac{5,67}{\frac{1}{\varepsilon_0} + \frac{F_0}{F_2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)}, \quad (2.6)$$

де ε — ступінь чорноти відповідно ґрунту і огорожі;

F_2 — поверхня огороження, м²;

$$R_0^{\tilde{n}\partial} = \frac{2F_{1.0} \cdot 2,14 + 2F_{2.0} \cdot 4,3 + 2F_{3.0} \cdot 8,6 + F_{4.0} \cdot 14,2}{F_0}, \quad (2.7)$$

де F_0 - поверхню ґрунту в теплиці, що примикає до зовнішнього огороження і має ширину 2 м, м²;

$F_{2.0}$ і $F_{3.0}$ - то ж, що відстоїть від поздовжнього зовнішнього огороження відповідно на 2 і 4 м, м²;

$F_{4.0}$ - інша поверхня ґрунту, що відстоїть на 6 м від поздовжніх зовнішніх огорожень, м².

$$Q_{ko} = A_3 \cdot m \sqrt{|\tau_0 - t_p|} \cdot (\tau_0 - t_p) F_0, \quad (2.8)$$

де A_3 - коефіцієнт для розрахунку конвективного теплообміну (є функцією температур поверхні теплообміну і навколишнього повітря, визначається за даними, наведеними в [10]);

m - коефіцієнт для розрахунку конвективного теплообміну, що дорівнює 1,3 при $0 > T$ і 0,7 при $0 < T$; 0 - температура відповідно поверхні ґрунту і повітря в робочій зоні, °C.

$$Q_{л.о} = C_{пр} \left[\left(\frac{\tau_0 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{\tau_2 + 273}{100} \right)^4 \right] \cdot F_0 \approx 0.814 \cdot \tilde{N}_{\text{в}} \cdot F_0 \cdot (\tau_0 - \tau_2), \quad (2.9)$$

де t_2 - температура поверхні огороження теплиці, °C.

$$Q_u = r_c \cdot \eta^\beta \cdot (c_0'' - \varphi_p \cdot c_{t_p}'') \cdot \frac{760}{P_\delta} \cdot F_0, \quad (2.10)$$

де $r_0 = 693 - 0,66 \cdot t_0$; t_0 ж - питома теплота випаровування, Вт год / кг (t_0 ж - температура рідини, °C);

$C_0 = 0,8$ - коефіцієнт неповноти водності [8]; Y - коефіцієнт масообміну, м / год; ρ - концентрація пари при 100% -ному насиченні і температурі поверхні ґрунту, кг / м³;

p - відносна вологість повітря в робочій зоні, %; ρ_p - концентрація водяної пари насиченого повітря в робочій зоні при температурі t_p кг / м³;

P_6 - барометричний тиск, мм рт. ст. ;

$$\beta = 0,66 \cdot \frac{D}{L_1} \cdot \left(\frac{q L_1^3}{\nu^2} \cdot \frac{y_{t_p} - y_{\tau_0}}{y_{t_p}} \cdot \frac{\nu}{D} \right)^{0.26}, \quad (2.11)$$

де D - коефіцієнт дифузії, $\text{м}^2 / \text{год}$;

$L1 = vF0$ / визначає розмір, м ;

q - прискорення сили тяжіння, $\text{м}^2 / \text{с}$;

V - коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря, $\text{м}^2 / \text{с}$ (приймають при $t_{\text{опр}}$ [11],

$\rho_{\text{тр}}$ і $\rho_{\text{ФО}}$ - щільність повітря при температурі відповідно в робочій зоні і поверхні ґрунту $\text{кг} / \text{м}^3$

$$D = 0,00754 \left(\frac{t_{\text{опр}} + 273}{273} \right)^{1,89} \cdot \frac{760}{P_{\sigma}}, \quad (2.12)$$

де $t_{\text{опр}}$ - визначальна температура 0°C ;

$$t_{\text{опр}} = \frac{\tau_0 + t_p}{2}; \quad (2.13)$$

$$\rho_{\text{тр}} = 1,293 \frac{273}{t_p + 273} \left(\frac{P_{\sigma}}{760} - 0,378 \frac{e_{t_p}^i}{760} \right), \quad (2.14)$$

де P_{σ} —пружність (парціальний тиск) насиченої водяної пари при температурі t_p , мм. рт.ст ;

$$\rho_{\text{фо}} = 1,293 \frac{273}{\tau_0 + 273} \left(\frac{P_{\sigma}}{760} - 0,378 \frac{e_{\tau_0}^i}{760} \right) \quad (2.15)$$

де e -упругість насиченої водяної пари при температурі t_0 , мм. рт.ст ;

$$Q_{\varepsilon 2}^{-} = (F_{\text{в}2} + 0,7 F_{\text{н}2}) \dot{A}_3 \sqrt[3]{|t_p - \tau_2|} (t_p - \tau_2), \quad (2.16)$$

де $F_{\text{в}2}$ і $F_{\text{н}2}$ – площа відповідно вертикальних і похилих огорож теплиці, м^2 ;

A- коефіцієнт, що залежить від температури [10];

t₂ - температура зовнішнього огороження 0С.

$$Q_{\varepsilon 2}^{-} = C_{\text{пр}} k_{\text{п}} \left[\left(\frac{\tau_0 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{\tau_2 + 273}{100} \right)^4 \right] \cdot F_0 \approx C_{\text{пр}} k_i F_0 0.814 \cdot (\tau_0 - \tau_2) \approx k_i Q_{\varepsilon, i}, \quad (2.17)$$

де k_п- коефіцієнт поглинання довгохвильового випромінювання, що дорівнює 0,88 для теплиць і 0,93 - парників і малогабаритних укриттів [6].

$$Q_{\text{конд}} = r_c \cdot 2.2 \cdot 10^{-6} (0.5t_p + 0.5\phi_2 + 273)^{0.42} \cdot \sqrt[3]{\frac{t_p - \tau_2}{\nu^2}} \Delta \varepsilon^{1.4} F_2, \quad (2.18)$$

де t-тау - різниця об'ємного змісту пара в повітрі, %;

е - приймають при [11];

F₂ - поверхня зовнішнього огороження теплиці, м²;

$$\Delta \varepsilon = 100 \left(\frac{\phi \cdot p_{t_p}^{e''} - e_{\tau_2}''}{P_{\phi}} \right), \quad (2.19)$$

де - пружність насиченої водяної пари при φ₂, мм рт. ст.

$$Q_{\varepsilon 2}^{+}=a_{k2}(\phi_2-t_n)F_2, \quad (2.20)$$

де a_{k2} - розрахований коефіцієнт тепловіддачі конвекцією зовнішнього огороження теплиці, Вт / (м² • °C);

$$\dot{a}'_{\varepsilon 2}=3,7 \frac{(g\gamma_n)^{0,8}}{L^{0,2}} \approx 3,7 \frac{\sqrt[3]{(\gamma_n g)^2}}{\sqrt[3]{\sqrt{L}}}, \quad (2.21)$$

де $\dot{a}'_{\varepsilon 2}$ - коефіцієнт тепловіддачі конвекцією для похилої ділянки огорожі, Вт / (м² • °C); γ_n - швидкість вітру, м / с;

L - найменший розмір споруди в плані, м;

$$\dot{a}''_{\varepsilon 2}=10 \sqrt{g}, \quad (2.22)$$

де $\dot{a}''_{\varepsilon 2}$ - коефіцієнт тепловіддачі конвекцією для вертикального ділянки огороження, Вт/(м³•°C);

$$\dot{a}_{\varepsilon 2} = \frac{\dot{a}'_{\varepsilon 2} F_{i2} + \dot{a}''_{\varepsilon 2} F_{a2}}{F_2}; \quad (2.23)$$

$$Q_{\varepsilon 2}^{+}=Q_{\varepsilon \phi}+Q_{\text{окр}}, \quad (2.24)$$

де $Q_{\varepsilon \phi}$ — ефективне випромінювання зовнішньої поверхні огороження в навколишній простір, Вт;

$Q_{\text{окр}}$ —променистий теплообмін зовнішньої поверхні огорожі з навколишніми землями і будівлями, Вт;

$$\begin{aligned} Q_{\varepsilon \phi}=5,67 \varepsilon_2 \left[\left(\frac{t_i + 273}{100} \right)^4 (0,27-0,007 \alpha_n \dot{a}_{t_i}^i) \cdot (1-c' n_0^2) \psi_1(\alpha) + \left(\frac{t_2 + 273}{100} \right)^4 - \right. \\ \left. \left(\frac{t_i + 273}{100} \right)^4 \right] \cdot \psi_2(\text{И}) F_2 \approx 5,67 \varepsilon_2 \cdot \psi_2(\text{И}) F_2 [(0,814 t_n + 55,55) \cdot (0,27- \\ 0,007 \alpha_n \dot{a}_{t_i}^i) \cdot (1 c' n_0^2) \psi_1(\alpha) + 0,814 (\phi_2 - t_n)]; \end{aligned} \quad (2.25)$$

де (ϕ) — функція, що враховує орієнтацію огорожі;

ϵ — ступінь чорноти огорожі теплиці;

ϵ_n — відносна вологість зовнішнього повітря;

p — пружність насиченої водяної пари при температурі t_n мм рт. ст.;

z' — коефіцієнт, що залежить від широти місцевості (0,74 для 55° с. ш., 0,7 для 45° с. ш.);

n_0 — хмарність у частках одиниці;

$(I) = 1$ — функція, що враховує взаємне розташування теплиці і навколишніх будівель, для окремо розташованої споруди [6];

$$\psi_1(\alpha) = \frac{\delta_\epsilon F_{\hat{a}2} + \cos \alpha F_{i2}}{F_2}, \quad (2.26)$$

де $\beta = 0,5$ для хмарного неба і $0,35$ безхмарного [6];

α — кут нахилу покрівлі теплиці ($^\circ$);

$$Q_{\text{окр}} = 5,67 \epsilon_2 \epsilon_0 \left[\left(\frac{t_2 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_i + 273}{100} \right)^4 \right] \psi_{\text{оп}} F_2 \approx 5,67 \epsilon_2 \epsilon_0 \psi_{\text{оп}} F_2 \cdot 0,814 (\phi_2 - t_n), \quad (2.27)$$

де ϵ — ступінь чорноти поверхні ґрунту;

$\psi_{\text{оп}}$ — коефіцієнт опроміненості системи «огорожа — земля і будівля»;

$$\psi_{\text{оп}} = 0,5 \frac{F_{\hat{a}2}}{F_2}; \quad (2.28)$$

$$Q_v = (\gamma_{\text{тн}} - \gamma_{\text{тр}})(Q_{\text{пр}} + Q_{\epsilon 2}^+ + Q_{\epsilon 2}^-), \quad (2.29)$$

де $\gamma_{\text{тн}}$ — щільність зовнішнього повітря, кг/м^3

2.3.7 Розрахунок сумарних теплових втрат для теплиці з плівковим огорожею, покритим конденсатом

Визначають коефіцієнт теплопередачі через стіни теплиці [6]

$$k_0^{\tilde{n}\delta} = \left[\frac{Q_i + Q_\theta}{(1 + \gamma_{t_i} - \gamma_{t_p})(t_p - t_i)} - \frac{F_0}{R_0^{\tilde{n}\delta}} \right] \frac{1}{F_2}, \quad (2.30)$$

Коефіцієнт теплопередачі через одинарну плівку, покриту конденсатом [6, 7]

$$k_0^{i\tilde{e}} = 1,1 k_0^{\tilde{n}\delta}, \quad (2.31)$$

Потрібне кількість теплоти на обігрів плівковою теплиці

$$Q'_i + Q'_\theta = \left(k_0^{i\tilde{e}} F_2 + \frac{F_0}{R_0^{\tilde{n}\delta}} \right) (t_p - t_n) [1 + 0,8(\gamma_{t_i} - \gamma_{t_\theta})] \quad (2.32)$$

: Встановлені теплові потужності ґрунтового нагрівального пристрою і шатрового визначаються з наступних виразів

$$Q'_i = \frac{Q_i}{Q_i + Q_\theta} (Q'_i + Q'_\theta); \quad (2.33)$$

$$Q'_\theta = \frac{Q_\theta}{Q_i + Q_\theta} (Q'_i + Q'_\theta); \quad (2.34)$$

2.3.8 Розрахунок теплової потужності обладнання плівковою теплиці

Потрібно розрахувати встановлену теплову потужність нагрівальних пристроїв для обігріву ґрунту і шатра в плівковій теплиці, розташованій в

Південній кліматичній зоні і призначеної для виробництва саджанців і різних видів розсади.

Задані вихідні: $t_n = -15^{\circ}\text{C}$; $t_p = 7^{\circ}\text{C}$; $\phi_0 = 20^{\circ}\text{C}$; $\alpha_n = 80\%$; $\alpha_p = 70\%$; $\vartheta = 5 \text{ м/с}$; $\varepsilon_0 = 0,96$; $\varepsilon_2 = 0,94$; $F_0 = 1440 \text{ м}^2$; $F_2 = 2045 \text{ м}^2$; $F_{B2} = 394 \text{ м}^2$; $F_{H2} = 1651 \text{ м}^2$; $L = 30 \text{ м}$; $L_1 = \sqrt{1440}$

Визначити та . Послідовність розрахунку показана в табл. 2.1. З розрахунку слід, що без обліку тепла, що вноситься сонячною радіацією, теплиця повинна мати тільки ґрунтову нагрівальний пристрій питомої встановленою потужністю 236 Вт/м^2 .

Таблиця 2.1 Послідовність розрахунку

Номер формули	Позначення	Результаты розрахунку	Розмірність	Примітки
2.6	c_{np}	522		$\varepsilon_0 = 0,96$, $\varepsilon_2 = 0,94$; $F_0 = 1440 \text{ м}^2$; $F_2 = 2045 \text{ м}^2$;
2.5	$t_{об}$	7,1	$^{\circ}\text{C}$	$\phi_2 = -9^{\circ}\text{C}$
2.7	R_{cp_0}	10,53	$\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{Вт}$	$F_1 = F_2 = F_3 = 96 \text{ м}^2$; $F_4 = 864 \text{ м}^2$
2.4	$Q_{п.г}$	3023,5	Вт	$t_{об} = 7,1^{\circ}\text{C}$; $R_{cp_0} = 10,53 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{Вт}$
2.8	$Q_{ко}$	78635,7	Вт	$A_3 = 1,375$; $m = 1,3$
2.9	$Q_{л.о}$	177441,8	Вт	$\phi_2 = -9^{\circ}\text{C}$
2.12	D	$22,97 \cdot 10^{-6}$	$\text{м}^2/\text{с}$	$t_{оп} = 13,5^{\circ}\text{C}$; $P_6 = 760 \text{ мм.рт.ст.}$
2.14	Γ_{tp}	1,256	кг/м^3	$\dot{d}_{t_0}^i = 7,492 \text{ мм.рт.ст.}$
2.15	Γ_{ϕ_0}	1,194	кг/м^3	$\dot{d}_{t_0}^i = 17,53 \text{ мм.рт.ст.}$
2.11	β	5,9	м/год	$v = 14,47 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; $L_1 = 37,95 \text{ м}$

2.10	$Q_{\text{и}}$	54567,7	Вт	$r_0=679,8 \text{ Вт} \cdot \text{год} / \text{кг}$; $z=0,8$; $\tilde{n}_0^i=17,2 \cdot 10^{-3} \text{ кг} / \text{м}^3$; $\varphi_p=0,7$; $\tilde{n}_{t_p}^i=7,7 \cdot 10^{-3} \text{ кг} / \text{м}^3$
2.16	$Q_{\hat{e}2}^-$	91274,9	Вт	$\dot{A}_3=1,455$; $\phi_2=-9^\circ\text{C}$
2.17	$Q_{\hat{e}2}^-$	156148,3	Вт	$Q_{\hat{e}2}=177441,8 \text{ Вт}$; $k_n=0,88$;
2.19	$\Delta \varepsilon$	0,39	χ	$\dot{a}_{t_2}^i=2,267 \text{ мм.рт.ст.}$;
2.18	$Q_{\text{конд}}$	39200	Вт	$r_c=693 \text{ Вт} \cdot \text{год} / \text{кг}$; $\nu=13,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}$
2.21	$\dot{a}_{\hat{e}2}^/$	2,7	$\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	$\Gamma_H=1.368 \text{ кг} / \text{м}^3$; $\mathcal{G}=0,5 \text{ м} / \text{с}$
2.22	$\dot{a}_{\hat{e}2}^{//}$	22,4	$\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	-
2.23	$\dot{a}_{\hat{e}2}$	105	$\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	-
2.20	$Q_{\hat{e}2}^+$	128835	Вт	$\phi_2=-9^\circ\text{C}$
2.26	$\psi_1(\alpha)$	0,77		$\delta_{\hat{e}}=0,35$; $\cos \alpha=0,866$
2.28	$\varphi_{\text{оп}}$	0,1		$F_{B2}=394 \text{ м}^2$; $F_2=2045 \text{ м}^2$;
2.25	$Q_{\text{эф}}$	147948,6	Вт	$c'=0,77$; $n_0=0$; $\phi_2=-9^\circ\text{C}$; $\dot{a}_{t_i}^i=1,4 \text{ мм.рт.ст.}$; $\varepsilon_2=0,94$
2.27	$Q_{\text{окр}}$	5110,6	Вт	$\varphi_{\text{оп}}=0,1$; $\varepsilon_0=0,96$
2.29	$Q_{\text{в}}$	30486	Вт	$\Gamma_{\text{тн}}=1,368 \text{ кг} / \text{м}^3$; $\Gamma_{\text{тп}}=1,261 \text{ кг} / \text{м}^3$; $Q_{\text{шт}}$ из (4); $Q_{\hat{e}2}^+$ из (9); $Q_{\hat{e}2}^+=(25)$
2.24	$Q_{\hat{e}2}^+$	153059,2	Вт	-
2.2	$Q_{\text{п}}$	313668,7	Вт	-
2.1	$Q_{\text{шт}}+Q_{\text{п}}$	315404	Вт	-
2.30	$k_0^{\tilde{n}\hat{o}}$	6,3	$\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	-
2.32	$Q_i^/ + Q_{\emptyset}^/$	340270	Вт	$k_0^{i\hat{e}}=6,9 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$
2.31	$k_0^{i\hat{e}}$	6,9	$\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	-
2.33	$Q_i^/$	340270	Вт	Потрібен тільки ґрунтовий підігрів при питомій встановленій тепловій потужності

				236 Вт/м ²
--	--	--	--	-----------------------

2.4 Фізико-математична модель формування енергетичного режиму в теплиці з додатковими розробками

При вирощуванні саджанців, розсади та іншої рослинності має висоту перед висадкою у відкритий ґрунт не більше 0,25 м, немає необхідності обігрівати всю теплицю висотою 3,2-4 м. Досить обігріти тільки робочу зону заввишки 0,3 м, захистивши її від обсягу теплиці малогабаритними укриттями. Такий обігрів, званий зонним, дозволяє зменшити витрату теплоти на вирощування розсади і знизить, питому теплову потужність нагрівальних пристроїв теплиці. Розрахункова схема енергетичного режиму

теplicі з зонним укриттям робочого об'єму, в якому розвивається розсада показана на рис. 2.4

У робочій зоні І діють теплові потоки від нагрівача, закладеного в ґрунт, Q_p і шатрового нагрівача $Q_{ш}$, змонтованого під зонним укриттям.

Теплові потоки втрат представлені витратами тепла на випаровування $Q_{и}$, інфільтрацію $q_{вр}$ а також променисті і конвективні потоки $Q_{ло}$, $Q_{ко}$ і.

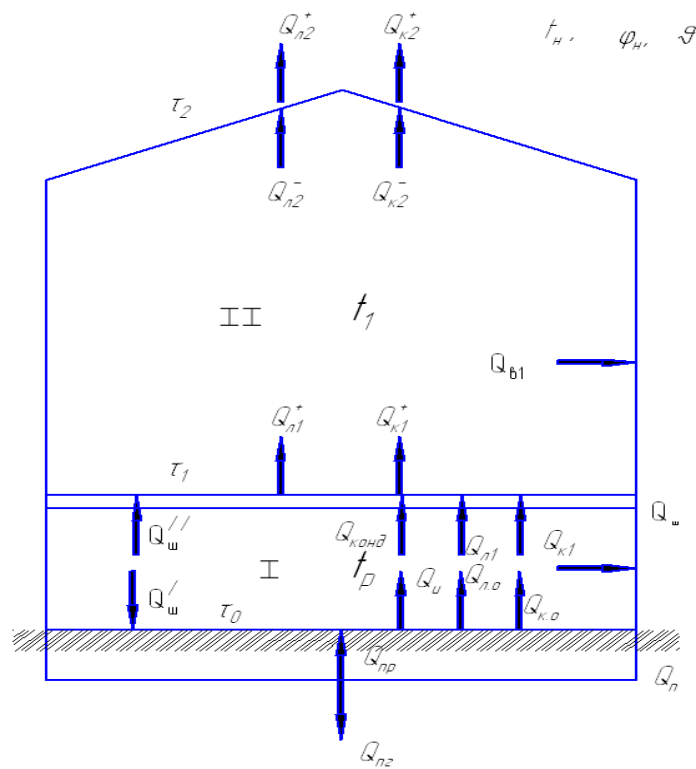


Рисунок 2.4 - Розрахункова схема енергетичного балансу теплиці з технічним обігрівом для нічного часу з зонним укриттям

На внутрішній поверхні зонного укриття, покритої конденсатом, діє потік $Q_{\text{конд}}$, що враховує фазовий перетворення водимо пара в воду. В неробочому обсязі II діють тільки потоки втрат з інфільтрацію $Q_{\text{в1}}$ а також променистий і конвективний $Q + \text{Л1}$, $Q - \text{л 2}$, $Q + \text{к1}$ і $Q - \text{к2}$. Внутрішня поверхня зовнішнього огороження буває покрита незначними конденсатом і, з огляду на його незначності, виділеннями тепла при конденсації можна знехтувати.

2.4.1 Уравнение теплового баланса для рабочей зоны I

$$Q_{\text{ш}} + Q_{\text{п}} = Q_{\text{п.г}} + Q_{\text{л1}}^{+} + Q_{\text{к1}}^{+} + Q_{\text{вр}} , \quad (2.35)$$

где $Q_{\text{ш}}$ и $Q_{\text{п}}$ - установленные тепловые мощности шатрового и почвенного нагревателей, Вт;

$Q_{л1}^+$ - лучистый тепловой поток от наружной поверхности зонного укрытия к внутренней поверхности наружного ограждения, Вт;

$Q_{к1}^+$ — конвективный тепловой поток от наружной поверхности зонного укрытия к воздуху в объеме II, Вт;

$Q_{вр}$ -тепловой поток потерь тепла на инфильтрацию в зоне I, Вт.

2.4.2 Рівняння теплового балансу для робочої зони II

$$Q_{л1}^+ + Q_{к1}^+ = Q_{л2}^+ + Q_{к2}^+ + Q_{в1}, \quad (2.36)$$

де $Q_{в1}$ - тепловий потік втрат на інфільтрацію в зоні II, Вт.

2.4.3 Рівняння теплового балансу для поверхні ґрунту

$$Q_{и} + Q_{\emptyset}^{\delta} = Q_{п.г} + Q_{ко} + Q_{л.о} + Q_{и}, \quad (2.37)$$

де - складова теплового потоку шатрового нагрівача, що бере участь в теплообміні з поверхнею ґрунту, Вт:

$Q_{и}$ -витрати теплоти на випаровування вологи з ґрунту, Вт;

$Q_{л.о}$ і $Q_{ко}$ тепловий потік втрат з поверхні ґрунту під зонним укриттям відповідно випромінюванням і конвекцією, Вт,

2.4.4 Рівняння теплового балансу для поверхні зонного укриття

$$Q_{\emptyset}^i + Q_{конд} + Q_{к1}^- + Q_{л1}^- = Q_{к1}^+ + Q_{л1}^+ \quad (2.38)$$

де Q_0 - складова теплового потоку шатрового нагрівача, що бере участь в теплообміні з поверхнею зонного укриття, Вт;

$Q_{\text{конд}}$ - тепловий потік, що характеризує виділення теплоти па внутрішньої поверхні зонного укриття при конденсації вологи, Вт;

$Q_{\text{Л1}}$ - тепловий потік в результаті теплообміну випромінюванням між внутрішньою поверхнею зонного укриття і поверхнею ґрунту, Вт;

$Q_{\text{к1}}$ - тепловий потік в результаті теплообміну конвекцією між внутрішньою поверхнею огорожі і повітрям робочої зони I, Вт.

2.4.5 Рівняння теплового балансу на поверхні зовнішнього огородження теплиці

$$Q_{\text{к2}}^- + Q_{\text{л2}}^- = Q_{\text{к2}}^+ + Q_{\text{л2}}^+, \quad (2.39)$$

де $Q_{\text{л2}}$ - тепловий потік у результаті теплообміну випромінюванням між внутрішньою поверхнею зовнішнього огородження і поверхнею зонного укриття, Вт;

$Q_{\text{к2}}$ - тепловий потік у результаті теплообміну конвекцією між внутрішньою поверхнею зовнішнього огородження і повітрям у зоні II, кВт.

2.4.6 Рівняння теплового балансу для всієї споруди в цілому

$$Q_{\text{ш}} + Q_{\text{п}} = Q_{\text{п.г}} + Q_{\text{к2}}^+ + Q_{\text{л2}}^+ + Q_{\text{в1}} + Q_{\text{вр}} \quad (2.40)$$

2.4.6 Рівняння теплового балансу для всієї споруди в цілому

З огляду на, що поверхні огородження теплиці з полімерних плівок бувають, покриті конденсатом, що перешкоджає пропускання

довгохвильового радіації, вирази для визначення потоків втрат випромінюванням приймають такими ж, як для споруд зі скляними покриттями, з подальшою поправкою на коефіцієнт тепловтрат.

З урахуванням цього припущення вираження для теплових потоків втрат приймають такий вигляд: $Q_{п.г}$ за формулою

(4); $t_{об}$ - (5); R_0^{cp} —(7); $Q_{ко}$ — (8); $Q_{и}$ — (10); β - (11); D — (12); $Q_{конд}$ - (18); $\Delta\varepsilon$ — (19) з заміною ϕ_2 на ϕ_1 и F_2 на F_1' ; $Q_{\varepsilon_2}^+$ -(20); $\dot{a}_{\varepsilon_2}'$, $\dot{a}_{\varepsilon_2}''$, $\dot{a}_{\varepsilon_2}$ - dslgjdslujно (21), (22) и (23); $Q_{л2}^+$ - (24); $Q_{эф}$ - (25) и $Q_{окр}$ - (27).

Теплові потоки, що діють під зонним укриттям, в обсязі I виражені в наступному вигляді [10]

$$Q_{л.о} = c_{пр} \left[\left(\frac{\tau_0 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{\tau_1 + 273}{100} \right)^4 \right] \cdot F_0 \approx 0.814 \cdot \tilde{N}_{i\delta} \cdot F_0 \cdot (\tau_0 - \tau_1) \quad (2.41)$$

де $c_{пр}$ - приведений коефіцієнт випромінювання;

τ_0 на τ_1 - температура поверхні відповідно ґрунту і укриття зонного, °C

$$c_{пр} = \frac{5,67}{\frac{1}{\varepsilon_0} + \frac{F_0}{F_1} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_1} - 1 \right)}, \quad (2.42)$$

де ε_0 и ε_1 — ступінь чорноти відповідно ґрунту і плівки;

F_0 і F_1 - площі ґрунту і поверхні зонного укриття, м².

$$Q_{л2} = k_{п} Q_{ло} \approx 0,93 Q_{ло}, \quad (2.43)$$

де k_n — коефіцієнт, що враховує поглинання променевої енергії повітряним середовищем.

$$Q_{к1} = (F_{в1} + 0,7F_{н1}) A_3'' \cdot \sqrt[3]{|t_p - \tau_1|} (t_p - \tau_1), \quad (2.44)$$

де $F_{в1}$ и $F_{н1}$ — площі відповідно вертикальної і похилій поверхні зонного укриття, m^2 ;

t_p - температура повітря, під зонним укриттям, $^{\circ}C$;

A_3'' — коефіцієнт, що залежить від $\frac{t_p + \tau_1}{2}$ (10).

$$Q_v = (\gamma_n - \gamma_p)(Q_{пг} + Q_{\epsilon 1}^+ + Q_{\epsilon 1}^-), \quad (2.45)$$

де γ_n і γ_p - об'ємні маси відповідно зовнішнього та внутрішнього повітря, kg / m^3 .

Вираз для визначення теплових потоків, що діють в неробочому обсязі II, наступні:

$$Q_{л.о} = c'_{пр} \left[\left(\frac{\tau_1 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{\tau_2 + 273}{100} \right)^4 \right] \cdot F_1 \approx 0.814 \cdot \tilde{n}'_{i\theta} \cdot F_1 \cdot (\tau_1 - \tau_2) \quad (2.46)$$

де τ_2 – температура зовнішнього огороження, $^{\circ}C$;

F_1 - поверхню зонного укриття, m^2 ;

$$c'_{пр} = \frac{5,67}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{F_1'}{F_2} \cdot \left(\frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right)}, \quad (2.47)$$

где $c'_{\text{пр}}$ - приведенный коэффициент облучения системы «зонное укрытие-наружное ограждение»;

ε_2 — степiнь чорноти зовнішнього огороження;

F_2 — площа зовнішнього огороження, м^2 ;

F'_1 - площа зонного укриття, що бере участь в лучистому теплообміні з зовнішнім огороженням, м^2 ;

$$Q^+_{\text{к1}} = A'_3 \cdot m \sqrt[3]{|\tau_1 - t_2|} (\tau_1 - t_2) F'_1, \quad (2.48)$$

де m - коефіцієнт ($m=1,3$ при $\tau_1 > t_2$);

t_1 - температура у зоні II, $^{\circ}\text{C}$;

A'_3 - коефіцієнт, залежний від $\frac{\tau_1 + t_2}{2}$ [10];

$$Q^-_{\text{л2}} = k'_{\text{п}} Q^+_{\text{л1}} \approx 0,88 Q^+_{\text{л1}}, \quad (2.49)$$

де $k'_{\text{п}}$ — коефіцієнт, рівний 0,88 [6]

$$Q^-_{\text{к2}} = (F_{\text{в2}} + 0,7 F_{\text{н2}}) A''_3 \cdot \sqrt[3]{|t_1 - \tau_2|} (t_1 - \tau_2), \quad (2.50)$$

де $F_{\text{в2}}$ и $F_{\text{н2}}$ — площі відповідно вертикальних і похилих поверхонь зовнішнього огороження, м^2 ;

A_3 - коефіцієнт, що залежить від визначальної температури

, $t_{\text{опр}} = \frac{t_1 + \tau_2}{2}$ [10];

$$Q_{в1} = (\gamma_n - \gamma_1)(Q_{\epsilon 2}^+ + Q_{\epsilon 2}^-), \quad (2.51)$$

де γ_1 — щільність повітря в зоні II, кг/м^3 ,

При теплофізическом розрахунку теплиці з технологічним обігрівом визначають встановлену теплову потужність систем шатрового і ґрунтового обігріву, що забезпечує необхідний температурний режим у ґрунті і робочій зоні для вирощуваних саджанців або розсади овочів, який відповідає заданій розрахунковій температурі зовнішнього повітря.

У загальному випадку дані наступні величини: конструктивні параметри теплиці L, F_1, F_2, F_0 , температурні і вологісні режими всередині її ϕ_0, t_p, c_p , параметри зовнішнього повітря t_n, V , цн.

Потрібно визначити теплові потужності нагрівальних пристроїв $Q_p, Q_{ш}$, температури огорож ϕ_1, t_2 і повітря t_1 в зоні II, без знання яких неможливо розрахувати теплові баланси на поверхнях огорожень і в обсягах теплиці.

Розрахунок зводиться до спільного вирішення рівнянь (35) - (40).

Потім за формулою (30) визначають коефіцієнт теплопередачі через скління, і з урахуванням виразів (31) - (34) знаходять встановлені теплові потужності систем обігріву для плівкової теплиці.

2.5 Управління системи електротермічного обладнання в теплиці на зниженій напрузі

На вибір схеми управління електронагрівальними пристроями споруди впливають. Вживане обладнання і нагрівальні елементи. У всіх схемах керування, повинно бути, передбачив автоматичне регулювання

температури. Автоматизація електрообігріву дозволяє економити до 40% електроенергії в порівнянні з її річним витратою на обігрів при ручному управлінні.

При використанні нагрівальних елементів, які виконані з неізолюваної дроту, що живиться струмом зниженої напруги, можна застосувати схему управління, розроблену в Вниелектропривід. Принципова електрична схема управління електронагрівальним пристроєм на зниженій напрузі живлення представлена ДПЭ1020.030000.03 Е2. Комплект обладнання КП-1 управляє нагрівальними пристроями ґрунту на площі до 1.5 га. В нього входять понижуючі трансформатори Тр1 типу ТМОБ-63 (4 шт.), шафи місцевого управління (4 шт.) і датчики температури ДТВ, ДТП типу ТСМ-239С (16 шт.).

Харчування на трансформатори ТМОБ-63 подають від фидерного автомата підстанції потужністю не менше 250 кВА. Трансформатори в режимі «розігрів» з'єднують за схемою Y / Y , а в режимі «обігрів» Y / Δ . При цьому лінійна напруга на вторинній стороні трансформатора в залежності від положення перемикача при розігріві одно 125, 103, 85 В, а при обігріві - відповідно 70, 60, 49 В. До первинної сторони живильного трансформатора ТР1 приєднують через В5 і В6 регулюють логометри ЛР1, ЛМ2, за допомогою яких здійснюють двопозиційне регулювання і контроль температури в спорудженні. Перемикачем В13 обладнання переводять з «автоматичного» режиму на «ручний». До первинної сторони ТР1 підключають за допомогою В13 електрифіковані механізми для обмотки ґрунту і догляду за рослинами. До вторинної обробки ТР1 через рубильники на 600 А (В8-В11) під'єднують нагрівальні елементи ЕН1-ЕН4. Контролюють напругу і струм: у всіх фазах по амперметрі і вольтметру, встановленим на вторинній стороні живильного трансформатора і підключається по черзі в кожен фазу за допомогою перемикачів В4 і В3.

Датчики температури ДТВ, ДТП приєднують по трехпроводній схемою з метою зменшення похибки, що вноситься опором сполучної лінії, і за допомогою вимикачів В1, В2 підключають до логометри ЛР1 і ЛР2.

При температурі повітря або ґрунту з спорудженні вище заданої логометри подають команду на відключення головного автомата В7, а при її зниженні - на включення. Відхилення температури від заданого значення, при двох позиційному регулюванні комплектом КП-1 не перевищують $\pm 1,5^{\circ}$ С.